Universidade de Aveiro
2009

Departamento de Engenharia Mecânica

PATRÍCIA CRISTINA ROCHA MARTINS

ESTUDO ENERGÉTICO DE ACOPLAGEM DE COLECTORES SOLARES A UM DIGESTOR ANAERÓBIO

Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Mecânica
2009

PATRÍCIA CRISTINA ROCHA MARTINS

ESTUDO ENERGÉTICO DE ACOPLAGEM DE COLECTORES SOLARES A UM DIGESTOR ANAERÓBIO

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Nelson Amadeu Dias Martins, Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, e sob a orientação científica da Professora Doutora Maria Madalena dos Santos Alves, Professora associada do Departamento de Engenharia Biológica da Universidade do Minho.

O júri

Presidente

Prof. Doutor Robertt Angelo Fontes Valente
Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Diana Zita Machado de Sousa
Professora auxiliar convidada do Departamento de Engenharia Biológica da Universidade do Minho

Prof. Doutor Nelson Amadeu Dias Martins
Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Maria Madalena dos Santos Alves
Professora associada do Departamento de Engenharia Biológica da Universidade do Minho

Agradecimentos

Em primeiro, quero agradecer à minha família pelo apoio incondicional e por tudo o que fizeram por mim, e ao Ricardo por todos estes anos de amor, compreensão, dedicação e muita paciência. Obrigado!

Agradeço aos meus orientadores, Professora Madalena e Professor Nelson, pela sábia orientação, por tudo o que me ensinaram e por tudo o que me fizeram aprender nestes meses de trabalho.

Agradeço também, aos meus amigos pela amizade, carinho, compreensão, interesse e pela ajuda que, sempre pronta, foi uma constante. Somos uma bela equipa.

Por último, e em especial à minha Mãe, a quem dedico este trabalho…

Palavras-chave Colectores Solares, Digestor Anaeróbio, Energia, Estudo Térmico, Plug-Flow, Resíduos, RETScreen, UASB, Viabilidade Económica.

Resumo

Cada vez mais, a preocupação com a crise energética e com os níveis de poluição aumenta na nossa sociedade. Enquanto humanos, na rotina diária, somos hiper-consumistas, produzindo muitos resíduos e poluição, desperdiçando muita energia e reciclando pouco. Por estas razões, é imperativo criar e implementar novas tecnologias que nos permitam obter menos poluição, menos resíduos e maior aproveitamento energético.

Um sistema como aqueles que são analisados neste trabalho, não só tratam resíduos, como produzem parte ou a totalidade da energia primária necessária ao seu funcionamento. É neste contexto que surge o tema deste trabalho, que tinha como objectivo principal o estudo energético e análise de viabilidade técnica e económica do acoplamento de colectores solares a um digestor anaeróbio.

O acoplamento do colector solar deveria fornecer energia, de forma a haver estabilidade térmica para que o processo de digestão decorresse sem problemas. Para atingir o objectivo, e conseguir realizar esse estudo, consideraram-se duas localizações geográficas distintas, Beja e Guarda, dois sistemas de digestor distintos, com características diferentes, sendo um sistema de UASB (Leito de lamas anaeróbio de fluxo ascendente) e outro de Plug-Flow (Fluxo - Pistão). Ambos a funcionarem em dois regimes diferentes, Mesofílico (37±2℃) e Termofílico (55±2℃). Como resíduo afluente escolhe u-se chorume de suíno.

Para a realização da análise e do estudo deste projecto utilizou-se o software RETScreen.

Concluiu-se que este tipo de sistemas é viável, e que os casos que apresentam maior viabilidade económica são os casos em que é usado um digestor UASB. Conclui-se, também que a viabilidade dos projectos depende muito do investimento inicial que por sua vez depende do número de colectores solares que são implementados, para satisfazer as exigências e carências térmicas dos sistemas.

Keywords Anaerobic Digestion, Economic Viability, Energy, Plug-Flow System, RETScreen, Solar Collector, Thermal Study, UASB System, Waste.

abstract

The concern about the energy and pollution levels is increasingly greater in our society. As humans, in our daily routine, we're hyper-consumers, producing waste and pollution in great quantities while wasting energy and recycling very little.

Therefore, it's imperative to create and implement new technologies that will allows us to decrease the level of pollution, increase our energetic efficiency, and at the same time reduce our production of waste.

It's a system like those that are analyzed in this work. They not only function as waste treatment, but also produce a part or all of the primary energy needed for its operation. It is in this context that the theme of this work, which had as main objective the study of energy and analysis of technical and economic viability of the uses of solar collectors to an anaerobic digester, came to thoughts.

The use of the solar collector should provide energy that we can use to obtain thermal stability, so that the digestion process occurs without any problems. To achieve that goal and to perform this study, two distinct locations are chosen: Beja and Guarda. These, in turn, will have two distinct digester systems with different characteristics, an UASB system (Upflow anaerobic sludge blanket) and a Plug-Flow system, with both working on two different set of temperatures, Mesophilic (37±2℃) and Thermophilic (55±2℃). The chosen waste was pig slu rry.

To perform the analysis and study of this project we used the RETScreen software.

It was concluded that this type of system is viable and that the cases where the economical viability is greater, are those where the UASB system is used. Also, the project's viability greatly depends on the initial investment, which in turn depends on the number of solar collectors that are implemented to satisfy the thermal demands and needs of the systems.

Índice

Índice de Figuras

Índice de Gráficos

Índice de Tabelas

1. Introdução

1.1. Sumário

Neste primeiro capítulo vai ser explicado onde se enquadra o tema do trabalho e qual a motivação principal para o desenvolvimento deste tema, bem como os objectivos que são propostos a serem atingidos. É ainda explicada a organização do trabalho e qual a contribuição que se pensa ser dada para trabalhos futuros.

1.2. Enquadramento

Actualmente um dos temas mais preocupante, problemático e que representa um dos grandes desafios para o futuro dos países desenvolvidos é a crise energética. No dia-a-dia usamos energia em tudo o que fazemos, e mesmo sem essa consciência todos somos consumidores constantes de energia, que na sua maioria é proveniente de fontes não renováveis.

As fontes renováveis de energia só o são, se a sua produção for maior do que o consumo, isto é, são aquelas que se renovam num período de tempo menor do que aquele em que é usada a energia produzida. Este não é o caso das Energias Fósseis que são usadas a uma escala muito maior do que a sua capacidade de regeneração, sendo assim escassas e não renováveis e levando-nos a uma crise energética a nível mundial.

Existem diversas fontes renováveis de Energia, como a Eólica, a Hídrica, a Geotérmica, das Marés, das Ondas, Biomassa e a Energia Solar. Esta última fonte, podemos dizer que é a mais importante de todas, uma vez que todas as outras dependem da Energia Solar para existirem. Não haveria nenhuma Fonte de Energia Renovável sem a Energia Solar e podemos considerar o Sol um recurso inesgotável e constante à escala humana. Considerando o incrível potencial energético desta fonte de energia, poderão ser suplantadas as carências energéticas sentidas, criando sistemas de aproveitamento e alimentação de energia de forma alternativa às até agora usadas.

Além disto, a produção de energia é uma das fontes de poluição do nosso planeta, tema que é igualmente preocupante. Todos os dias é produzida poluição, sobre as mais variadas formas, que em muito ultrapassa os níveis aceitáveis para o bom funcionamento dos ecossistemas e do nosso planeta. Diariamente são produzidas toneladas de resíduos industriais e domésticos, que deveriam ser requalificados e tratados para minorar os danos colaterais e directos à nossa existência. A poluição é assim, um dos temas actuais que anda a par com o tema da crise energética.

Foi neste contexto que surgiu o tema deste trabalho. Recorrer a um sistema de colectores solares para fornecer a energia necessária ao funcionamento de um digestor anaeróbio, para o processamento e digestão de resíduos, resultando na produção de biogás.

Haverá um menor consumo de energia que provenha de fontes não renováveis, assim como haverá produção de um combustível, o biogás, enquanto se procede à requalificação e tratamento de resíduos.

1.3. Objectivos

Este trabalho tem como principal objectivo verificar a viabilidade de um sistema de colector solar acoplado a um digestor anaeróbio, para fornecimento de energia, de forma a haver estabilidade térmica, recorrendo o menos possível a uma fonte energética adicional e sem comprometer a eficiência do sistema ou a viabilidade económica.

Pretende-se verificar a eficiência de dois sistemas para os processos mesofílicos (37º±2ºC) e termofílicos (55º±2ºC), para duas localizações geográficas diferentes.

1.4. Organização da tese

Este trabalho está organizado em 6 capítulos. Neste primeiro capítulo procurou-se fazer um enquadramento e uma introdução à temática que deu origem a este trabalho, referindo os objectivos principais e a contribuição que é dada para trabalhos futuros.

Nos capítulos seguintes foi feita uma revisão bibliográfica sobre digestores anaeróbios e colectores solares. Foram referidas e dadas as informações que poderão ser necessárias ao leitor, para compreender o funcionamento dos sistemas em estudo, e as análises feitas à viabilidade económica e técnica destes.

No quarto capítulo definiu-se e caracterizou-se os casos em estudo de forma detalhada, para que no quinto capítulo toda a análise feita fosse facilmente entendida.

O trabalho é finalizado num capítulo onde são tiradas conclusões das análises de viabilidade técnica e económica dos casos de estudo, dando ainda a visão do rumo dos trabalhos futuros possíveis.

1.5.Contribuição da tese

Conforme foi referido nos objectivos deste trabalho, pretendeu-se verificar a viabilidade económica e técnica de um sistema de requalificação e tratamento de resíduos e produção de biogás, acoplando um colector solar para fornecer a energia necessária ao funcionamento do sistema. Assim sendo, este trabalho pretende também, procurar novas soluções viáveis de melhoramento de eficiência energética e de diminuição da dependência de fontes de energia fósseis, visto que usando uma fonte de energia renovável como a energia solar, poderemos produzir combustíveis como o biogás, enquanto procedemos ao tratamento de resíduos e desperdícios.

1.6.Síntese do capítulo

Neste capítulo fez-se uma breve introdução ao trabalho, procedendo ao enquadramento do tema. Foi também definida a organização do trabalho e os seus objectivos principais. No próximo capítulo será feita uma revisão bibliográfica sobre digestores anaeróbios.

2. Revisão Bibliográfica sobre Digestores Anaeróbios

2.1.Sumário

Neste capítulo procedeu-se à revisão bibliográfica sobre digestores anaeróbios. Para isso foi usado fundamentalmente o guia técnico do biogás, onde foi recolhida quase toda a informação sobre reactores, modelos e funcionamento, capacidade de produção de biogás e afluentes e lamas passíveis de serem usados.

2.2.Processo de Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo que ocorre na ausência de oxigénio onde as estruturas dos materiais orgânicos complexos, são destruídas e simplificadas, obtendo-se Metano (CH_4) e Dióxido de Carbono (CO_2). Este processo ocorre devido a microrganismos que são auto-suficientes, conseguindo fornecer e manter os níveis de energia e de nutrientes necessários à sua existência, desde de que sejam mantidos nas condições óptimas.

Para que todo este processo seja estável a actividade dos microrganismos deve ser de forma combinada, entre diferentes populações de bactérias anaeróbias obrigatórias e facultativas, que irão ser distinguidas neste capítulo.

O processo de digestão ocorre ao longo de 7 passos. O primeiro desses passos é a hidrólise de proteínas, lípidos e hidratos de carbono, seguindo-se a 2ª etapa, a fermentação de amino-ácidos e açúcares e a 3ªetapa, a oxidação anaeróbia de ácidos gordos de cadeia longa e álcoois. Posteriormente tem-se a 4ª etapa do processo onde se dará a oxidação anaeróbia de ácidos gordos voláteis (AGV). Segue-se a etapa de conversão de CO_2 e H_2 em ácido acético, a etapa de conversão do acético em CH_4 e simultaneamente a etapa de conversão do H_2 em CH_4.

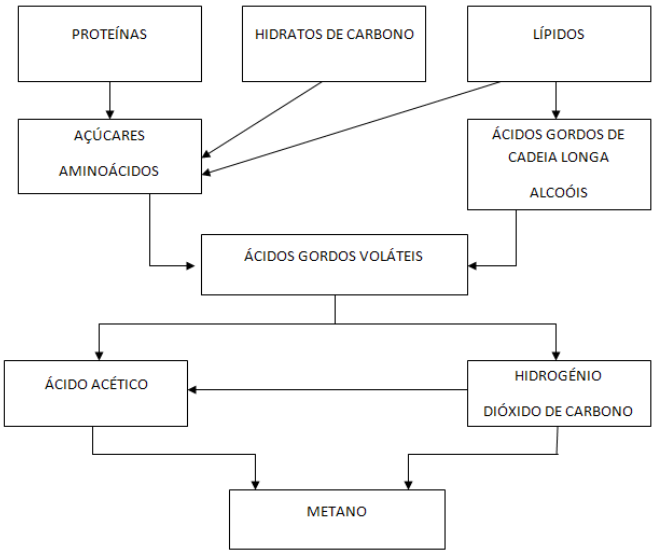


Figura 1 - Principais passos do processo de digestão anaeróbia (Santos, 2000)

Estas etapas dividem-se em 4 fases distintas que são da responsabilidade de 3 grupos distintos de bactérias.

2.2.1. Tipos de bactérias presentes nos processos

Existem 3 grupos de bactérias que desenvolvem o processo de digestão e que têm funções diferentes.

Tabela 1 – Grupos de bactérias e fases do processo de digestão respectivas (Santos, 2000)

Grupos de Bactérias	Fases	Passos
Fermentativas	Hidrólise e Acidogénese	1, 2 e 3
Acetogénicas	Acetogénese	4 e 5
Metanogénicas	Metanogénese	6 e 7

As bactérias fermentativas, também designadas por população acidogénica, são responsáveis pelas duas primeiras fases do processo de digestão anaeróbia, a hidrólise e a acidogénese.

Na hidrólise há uma libertação de exo-enzimas que decompõem moléculas mais complexas em compostos mais simples, como açúcares, ácidos gordos, metanol, etc. Ocorre então a acidogénese onde são formados ácidos gordos voláteis (AGV).

Seguidamente têm-se as bactérias acetogénicas que são o grupo responsável pela decomposição dos produtos da acidogénese em acetato, H_2 e CO_2. Este grupo divide-se em dois tipos de bactérias, as produtoras obrigatórias de hidrogénio e as utilizadoras de hidrogénio.

Para terminar existem as bactérias metanogénicas que levam a cabo a fase final da digestão anaeróbia. Estes microrganismos são estritamente anaeróbios, o que significa que só crescem, proliferam e produzem metano na ausência total de O_2. É ainda de referir que a sua multiplicação é mais lenta e a sua velocidade de crescimento cerca de 5 vezes inferior à dos outros grupos.

2.2.2. Influência dos factores ambientais nos processos

Devido à diversidade dos microrganismos envolvidos no processo de digestão, este tem de ocorrer dentro de certos parâmetros óptimos, para se garantir a sua eficiência. Assim, os factores ambientais influenciam grandemente a eficiência do processo de digestão anaeróbia. Os factores a controlar devem ser a temperatura, o pH, a alcalinidade, os macro e micro nutrientes e a toxicidade dos resíduos a digerir.

A temperatura é um dos factores de maior relevância no processo, tendo influência directa na actividade das populações de microrganismos envolvidos, nomeadamente na sua velocidade de crescimento. Influencia ainda a produção de biogás, o grau de utilização do substrato durante o arranque do processo e a capacidade de resposta a variações na carga do digestor.

Qualquer que seja a gama de temperaturas a que os resíduos e o digestor se encontrem, esta deve ser constantes para que o processo de digestão seja estável. Alterações rápidas de temperatura, mesmo que de apenas alguns graus, podem perturbar o metabolismo dos microrganismos, implicando assim a quebra de produção e de tratamento, havendo posteriormente à quebra, a necessidade de alguns dias para recuperar o equilíbrio do sistema.

O valor do pH é outro parâmetro importante para o bom funcionamento e crescimento dos microrganismos. Para as bactérias metanogénicas, as mais sensíveis a variações de pH, o valor óptimo situa-se entre 7 e 8.

As acidogénicas têm uma maior tolerância a valores baixos de pH sendo entre 5,5 e 6,0 o ponto óptimo. Devido a estas diferenças, é frequente dividir-se o processo de digestão anaeróbio em duas fases separadas. Num primeiro digestor ocorre a acidogénese, tendo portanto o pH de 5,5 a 6,0. Num segundo digestor ocorre a metanogénese, onde o pH é de 7 a 8, próximo de um valor neutro. No caso de não haver divisão o digestor executa o processo com um pH próximo de 7.

A alcalinidade é outro parâmetro, e designa-se pela resistência que é oferecida à variação de pH pela presença de determinadas substâncias. É resultante da relação de Dióxido de Carbono – Bicarbonato existente no reactor. Parte do CO_2 resultante da actividade dos microrganismos dissolve-se formando bicarbonatos. Em equilíbrio, o grau de dissolução do CO_2 é proporcional à sua pressão parcial no biogás. A concentração de bicarbonatos é função do pH, logo esta concentração, o pH e a pressão parcial de CO_2, no gás, estão relacionados.

Melhor do que o pH, a alcalinidade pode ser considerada um indicador de estabilidade do processo, na medida em que a acumulação de ácidos voláteis conduz a uma diminuição da alcalinidade total.

Os valores normais deste parâmetro dependem do substrato e das condições de funcionamento do digestor. Digestores a funcionarem em condições normais têm alcalinidade a rondar valores de 2.500 a 5.000 mg $CaCO_3$/l.

Outro factor a ter em conta é a presença dos macro e micro nutrientes, necessários para que as bactérias desempenhem a sua função de forma eficiente. Os principais ingredientes são Carbono, Oxigénio, Azoto e Hidrogénio. Enxofre e Fósforos são também necessários e importantes. A presença dos principais macro-nutrientes depende das características do substrato usado.

Para que o processo anaeróbio decorra normalmente a relação entre carbono e azoto $\left({}^{C}/_{N}\right)$ deverá ter valores entre 15 e 30. Na tabela seguinte podemos ver a relação existente em diferentes substratos.

Tabela 2 - Relação Carbono / Azoto em diferentes substratos (Santos, 2000)

Produto Orgânico	C/N
Chorume de porco	20
Chorume de porco (fracção sólida)	10 – 16
Estrume de bovino	14 – 20
Estrume de cavalo	22 – 25
Estrume de ovino	20 – 25
Dejectos de galinha poedeira	5
Estrume de frangos de engorda	11 – 13
Estrume de perus	11
Palha de aveia, cevada, colza, trigo	60 – 70
Palha de centeio	77
Palha de milho	50 – 55
Resíduos de beterraba sacarina	31
Bagaço de uva	20 – 25
Bagaço de azeitona	16 – 32
Serradura	200 – 220
Resíduos de jardim	12
Lamas de esgoto primárias	11
Lamas de esgoto secundárias (activadas)	6

Por fim, tem-se a toxicidade que é um factor de elevada importância pois o processo de digestão anaeróbia pode ser inibido pela presença de materiais em níveis tóxicos. Um aumento na concentração de AGV, por exemplo, indica uma inibição da população metanogénica do digestor, devido a choques de carga orgânica, falta de nutrientes ou introdução de substâncias tóxicas. A acumulação de AGV não só manifesta uma instabilidade do processo, como pode inibir este. Outro exemplo é o dos sulfuretos. Em efluentes com elevado teor de sulfatos e sulfitos, pode haver formação de sulfuretos, que em meio ácido se transforma em gás tóxico para as bactérias metanogénicas. A amónia é também tóxica para as metanogénicas, apesar de poder ser uma importante fonte de azoto quando em concentrações mais baixas.

Uma das causas mais comuns de falha de sistemas de tratamento anaeróbio de esgoto doméstico, é a existência de metais pesados nos afluentes.

2.3.Tipos de efluentes e lamas

Os processos anaeróbios controlados pelo homem, utilizam resíduos de natureza orgânica como substrato. A partir deles os microrganismos podem desenvolver-se e produzir o biogás, enquanto requalificam e tratam os resíduos.

Uma das grandes vantagens da digestão anaeróbia é a solução do problema que se prende aos resíduos que geralmente não têm destino final, visto serem poluentes e necessitarem de um tratamento prévio a qualquer utilização. A digestão anaeróbia não só trata os resíduos poluentes, permitindo assim o seu uso por exemplo na agricultura, como desse tratamento obtemos o biogás.

Os resíduos que podem ser submetidos a um processo de digestão anaeróbia podem ser agro-pecuários, industriais ou municipais.

Os resíduos agro-pecuários nomeadamente os gerados em explorações agrícolas e as lamas de Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETARs) domésticas, são os resíduos mais usados actualmente em digestão anaeróbia. Os excrementos animais, pela sua elevada biodegradabilidade em condições de anaerobiose, são dos mais usados quer em sistemas simples e de reduzidas dimensões como em sistemas mais complexos e de maior escala.

Os resíduos industriais são uma confirmação do grande potencial de aplicação, que a digestão anaeróbia tem em indústrias geradoras destes resíduos. Este tipo de aplicação serve como pré-tratamento e com o objectivo de controlar odores e de reduzir custos com as taxas de admissão de resíduos nos sistemas municipais de tratamento. Tem ainda a vantagem de as indústrias poderem usar o biogás produzido para alimentar a unidade industrial, reduzindo assim a factura energética, quer pela conversão em electricidade, quer pela queima do gás gerando calor.

As indústrias que mais usam estes sistemas, são as de processamento alimentar e de bebidas (cervejeiras por exemplo), bem como as de pasta de papel, químicas e farmacêuticas.

Existem também, os resíduos municipais que são sobretudo de natureza sólida e líquida (esgotos) que têm fundamentalmente características orgânicas e que possuem proveniência doméstica. Estes resíduos são tratados em ETARs municipais. Inicialmente esse tratamento servia apenas para controlar o volume de lamas, contudo hoje já é tido em conta a produção de biogás.

Outra fonte de grande potencial de matéria orgânica, para digestão anaeróbia, é o grupo dos resíduos sólidos urbanos (RSU). A composição e a definição de RSU variam de país para país. Actualmente os RSU podem ser reciclados por compostagem ou por digestão, contudo os processos de compostagem são consumidores de energia (necessitando entre 50 a 75kWh/ton de resíduo a processar) enquanto o processo de digestão é produtor de energia gerando 75 a 150 kWh/ton de resíduo.

2.3.1. Capacidade de produção de biogás das diferentes lamas e afluentes

Dentro do mesmo tipo de actividade pecuária (pocilgas, aviários, estábulos, etc.) as características dos resíduos podem variar em quantidade, concentração e biodegradabilidade, dependendo da composição das dietas, do plano de alimentação, dos sistemas de limpeza das instalações e da distribuição dos animais.

Os excrementos de galinha e o chorume de porco podem ser 3 a 4 vezes mais fáceis de degradar, pelos microrganismos anaeróbios do processo de digestão, do que o estrume de bovinos. Tal deve-se à alimentação dos bovinos onde estão presentes compostos celulósicos (de lenta degradação) e lenhina (não biodegradável em condições de anaerobiose).

Estes factores vão influenciar a capacidade e quantidade produzida de biogás, e o tempo de digestão.

2.4.Tipos de Digestores Anaeróbios

Para que o processo de tratamento e valorização de resíduos através de digestão anaeróbia produza resultados verdadeiramente úteis, é necessário que todo o processo e as suas condições sejam controlados.

O processo ocorre no principal elemento do sistema, o reactor (digestor) que é um tanque fechado, onde os microrganismos entram em contacto com o resíduo, em total ausência de oxigénio (anaerobiose) produzindo Metano (CH_4) e Dióxido de Carbono (CO_2).

Existem dois tipos de digestores anaeróbios: os descontínuos (ou "batch") e os contínuos. A diferença principal entre estes dois tipos é a forma como é introduzido e retirado o substrato a digerir.

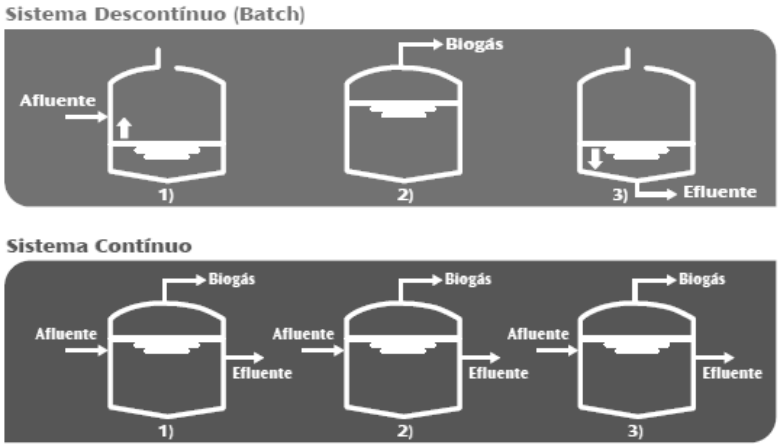


Figura 2- Diferenças entre os 2 tipos de digestores anaeróbios. (EDS.Norte - Energia e Desenvolvimento Sustentável na região Norte)

Nos sistemas descontínuos a introdução de resíduos (afluente) é num momento diferente da remoção deste, isto é, é introduzida uma certa quantidade de afluente no digestor, onde vai permanecer por um determinado período de tempo, sendo sujeita à acção dos microrganismos e sendo decomposta a matéria orgânica aí presente, produzindo o biogás. Acabado o período de digestão o resíduo decomposto e tratado, é removido do digestor. Este processo desde a década de 40 que tem vindo a cair em desuso.

Nos sistemas contínuos o processo é diferente, sendo o volume de resíduo constante no interior do digestor ao longo do tempo, isto é, a quantidade de resíduo que é introduzida no digestor (afluente) é sempre igual à quantidade de resíduo tratado (efluente) que sai deste após determinado tempo de retenção. Este tipo de sistemas derivou das fossas sépticas e têm vindo a evoluir através dos tempos, sendo muito utilizado actualmente na produção de biogás.

O sistema pode dividir-se em dois grupos diferentes, de acordo com a forma como é provocada a retenção de biomassa, podendo ser reactores de biomassa em suspensão (ou sem suporte), ou reactores de biomassa fixa (com suporte).

Os reactores de biomassa em suspensão são tanques fechados, dotados de agitação e de aquecimento, com um regime de alimentação semi-contínuo ou contínuo. A sua eficiência depende da utilização de lamas com boas propriedades de sedimentação (nomeadamente através da formação de grânulos), uma vez que este tipo de reactores é adequado para resíduos semi-sólidos.

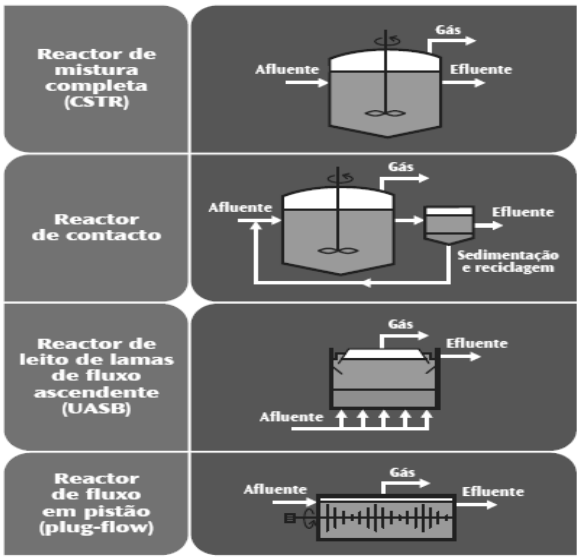


Figura 3 - Modelos de reactores anaeróbios de biomassa em suspensão. (EDS.Norte - Energia e Desenvolvimento Sustentável na região Norte)

Os reactores de biomassa fixa são particularmente indicados para o tratamento de resíduos de maior solubilidade. Este tipo de reactores usa um meio de suporte para que as bactérias se fixem, aumentando assim o tempo de retenção da biomassa.

Existem vários modelos disponíveis, para este tipo de sistemas, como o de filtro anaeróbio, de filtro híbrido, de leito fluidizado/expandido e de leito assistido, e existem ainda vários filtros de materiais diferentes.

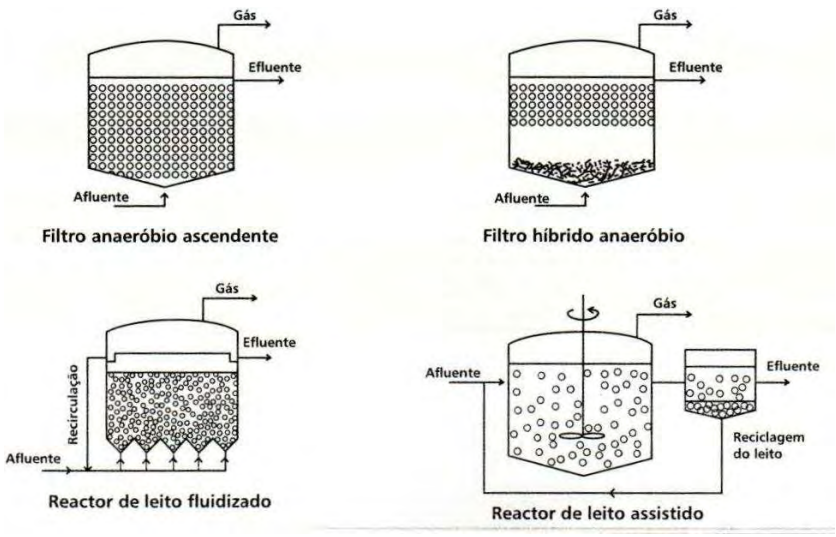


Figura 4 - Modelos de reactores anaeróbios de biomassa imobilizada. (Santos, 2000)

A opção cada vez mais usada, é o sistema com separação de fases do processo anaeróbio, onde dois digestores trabalham. No primeiro digestor ocorre a hidrólise e a acidogénese e no segundo digestor dá-se a metanogénese. Este sistema tem várias vantagens, nomeadamente a produção de um biogás mais rico em metano e a possibilidade do melhoramento das condições ambientais para as diferentes populações de microrganismos.

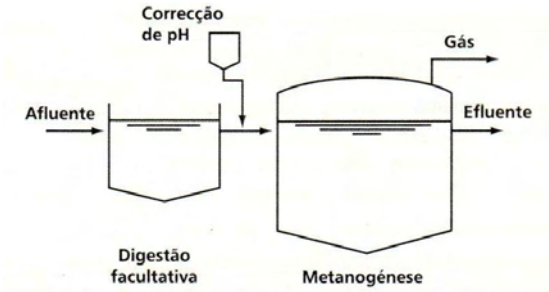


Figura 5 - Sistema de digestão em duas fases. (Santos, 2000)

2.4.1. Principais modelos de digestores

Existem diversos modelos e tipos de digestores diferentes. Os modelos mais usados na actualidade são:

- Digestor de mistura completa (CSTR)
- Reactor de contacto
- Reactor de fluxo-pistão ("Plug-Flow")
- Leito de lamas anaeróbio de fluxo ascendente (UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket)
- Filtro anaeróbio
- Filtro híbrido anaeróbio
- Reactor de leito fluidizado/expandido

O digestor de mistura completa caracteriza-se por o resíduo afluente ser misturado com o conteúdo activo do digestor, sendo essa mistura proporcionada por uma agitação eficiente desse conteúdo. Este modelo de digestor, devido às suas características, apresenta melhores condições para digerir resíduos concentrados e com elevado teor de sólidos, por exemplo resíduos pecuários e lamas de esgoto doméstico. Para garantir uma degradação eficiente dos resíduos, o tempo de retenção do substrato deve ser elevado.

A maior limitação deste modelo é a manutenção de uma quantidade de biomassa microbiana estável no interior do digestor, uma vez que ele não está dotado de qualquer sistema de retenção.

O reactor de contacto é eficaz no controlo de perdas de biomassa anaeróbia activa ("washout"). Esse controlo é feito através de uma separação e de uma reciclagem de lamas, aumentando assim o tempo de retenção dos microrganismos garantindo uma população estável de bactérias. Esta separação pode ser feita por decantação, flotação ou centrifugação. Apesar destes métodos de separação haverá sempre uma parte que será perdida.

O modelo mais usado em Portugal é o reactor de fluxo-pistão “Plug-Flow”. Este sistema é constituído por um tanque rectangular longo, com fundo prismático construído abaixo do nível do solo e coberto por uma tela flexível e impermeável ao gás, obrigando assim que o biogás produzido fique retido nesta tela. Podemos ainda ter tanques cilíndricos horizontais onde o movimento da massa é garantido por um sistema de agitação (hélice ou parafuso) localizado num eixo central. O resíduo afluente é introduzido num dos extremos do tanque, provocando uma movimentação da massa que existe no interior do tanque, obrigando uma quantidade da massa de efluente tratado a sair do digestor. É precisamente este movimento que dá o nome ao sistema. O modelo de fluxo-pistão devido ao reduzido número de componentes, tem uma manutenção mais fácil e menos dispendiosa que a de outros sistemas e é dotado de zonas segmentadas para que haja uma maior retenção de biomassa.

O sistema de leito de lamas anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) é diferente dos anteriores, visto a biomassa não ser perdida em quantidade, logo não existe o problema da retenção. Neste sistema existe uma agregação dos microrganismos, formando-se grânulos densos com diâmetro entre 1 e 5mm e com grande capacidade de sedimentação, ficando assim retidos no digestor. Este sistema é constituído por um leito de lamas, um manto de lamas, um separador gás/sólido e um compartimento de decantação.

O leito é uma camada de biomassa em grânulos que se encontra no depositado no fundo do reactor e o manto é a fracção de partículas que se encontra em suspensão. O caudal afluente é introduzido pelo fundo do reactor obrigando assim que haja contacto com a biomassa activa.

Nos sistemas de filtro anaeróbio ou de filme fixo, as bactérias estão imobilizadas num material inerte de suporte. Este sistema é apenas aplicável a resíduos líquidos devido ao elevado risco de entupimento do filtro.

O sistema de filtro híbrido anaeróbio tem características do filtro anaeróbio e do reactor UASB e resultou da tentativa de resolução de dois problemas que ocorriam, nestes sistemas, como a existência de zonas mortas e de canais preferenciais devido a má distribuição horizontal do afluente e baixa actividade específica de biomassa que se encontra no fundo do reactor.

Por fim, temos ainda o modelo de reactor de leito fluidizado/expandido. Neste sistema os microrganismos crescem e formam uma camada sobre partículas de um material inerte, ou formam agregados que se irão sedimentar por acção do tal material, que poderá ser areia (mais comum), argilas ou carbono activado (em partículas com diâmetros entre 0,3 e 1 mm).

A principal diferença entre leito fluidizado e leito expandido está na recirculação dos agregados que saem juntamente com o efluente, para o interior do digestor de leito fluidizado. Tendo a desvantagem de apenas poderem operar em resíduos líquidos, compensam oferecendo um curto tempo de retenção hidráulico.

2.5.Funcionamento de digestores anaeróbios

Para que o processo de digestão anaeróbia decorra de forma eficiente, existem variáveis e parâmetros que devem ser controlados. A temperatura, mistura ou agitação de lamas, tempo de retenção hidráulico e carga orgânica são os parâmetros mais importantes.

2.5.1. Parâmetros de funcionamento

Temperatura:

A temperatura é um dos parâmetros mais importantes para o processo de digestão anaeróbia. Conforme a temperatura de operação do reactor, iremos ter regimes de funcionamento diferentes.

Para controlar a temperatura de funcionamento temos de aquecer o afluente e fornecer calor ao digestor, bem como o isolar termicamente para reduzir perdas. Este aquecimento pode ser conseguido usando permutadores de calor, e usualmente a fonte de energia primária é o próprio biogás produzido, o que em caso de se pretender comercializar o biogás, se revela contra-producente.

Os permutadores podem ser internos ou externos e geralmente usam água como fluído de condução do calor, ou gases de exaustão de outros sistemas. O aquecimento pode ser ainda por fundo radiante do digestor ou por pré-aquecimento com vapor. Se o permutador for interno o conteúdo do digestor é aquecido por uma serpentina, ou tubos colocados no interior do digestor, onde será circulado o fluído quente. Caso o permutador seja externo o fluído quente circulará em contra corrente com o resíduo a aquecer, circulado também em tubagens. A vantagem do permutador interno é a maior eficiência na troca, contudo tem a desvantagem de uma maior necessidade de manutenção e trabalhos de limpeza das superfícies que tendem com o tempo a ficar revestidas com resíduos dificultando assim as trocas térmicas. No permutador externo isto não se verifica, sendo a facilidade de manutenção a sua maior vantagem.

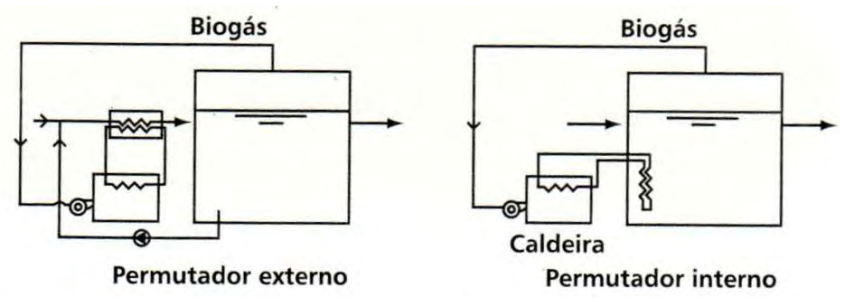


Figura 6 - Sistemas de aquecimento (externo e interno) de digestores anaeróbios. (Santos, 2000)

O resíduo afluente deve sempre ser introduzido no digestor, previamente aquecido, ou junto ao permutador (no caso deste ser interno), para que não comprometa o funcionamento do sistema e o bom funcionamento das bactérias.

Para melhorar a eficiência do sistema é necessário reduzir perdas térmicas, o que poderá ser conseguido com um isolamento térmico adequado. A forma mais usada e mais simples de isolar um digestor é colocar, este no solo, aproveitando assim a inércia térmica da terra. Ou em alternativa, podem ser usados materiais de revestimento, como o poliuretano, o poliestireno ou outros materiais poliméricos, lã de vidro, lã de rocha, argilas, etc. Para proteger estes revestimentos das intempéries, poderemos usar ainda um revestimento exterior, paredes duplas ou materiais refractários. Estes isolantes devem estar presentes também nas tubagens de alimentação dos reactores.

As necessidades térmicas de um digestor dependem de uma série de factores como as temperaturas do resíduo, do ambiente circundante, da temperatura de digestão, das dimensões do digestor e das características e isolamento térmico do digestor. Assim podem ser calculadas as necessidades térmicas através do somatório do calor necessário para elevar a temperatura do resíduo afluente à temperatura de digestão, com o calor necessário para compensar as perdas térmicas pela envolvente (paredes, fundo e topo do digestor), com o necessário para compensar as perdas que ocorram nas tubagens.

Mistura/Agitação:

A homogeneização do afluente com o conteúdo do digestor pode ser um dos parâmetros mais influentes na eficiência e eficácia de um processo de digestão anaeróbia. Essa homogeneização deve ser feita para igualar temperaturas e para eliminar zonas inactivas do digestor.

Os sistemas de mistura/agitação mais usados são recirculação e injecção de biogás, agitação mecânica e recirculação de efluente. Podem ainda ser combinados 2 tipos de agitação para melhorar a eficiência da mistura.

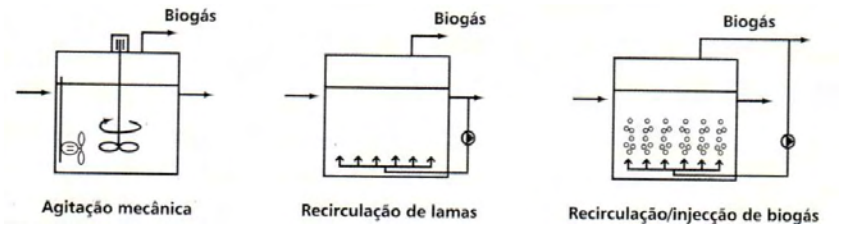


Figura 7 - Tipos de sistemas de agitação/mistura de digestores anaeróbios. (Santos, 2000)

Na recirculação do biogás produzido é usado um compressor para comprimir este gás e é injectado por meio de difusores espalhados no fundo. As bolhas ao ascenderem promovem a mistura.

Os sistemas mecânicos têm agitadores tipo hélice ou propulsores submergíveis. Contudo este tipo de mistura/agitação tem a desvantagem de difícil manutenção e a sua operação ao longo do tempo resulta em problemas como corrosão, desgaste e entupimento dos componentes.

Tempo de Retenção Hidráulico (TRH):

O tempo de retenção hidráulico, como já foi referido, consiste no tempo médio que um resíduo permanece no digestor, logo o tempo de contacto entre o resíduo e a população de bactérias digestoras. Este tempo pode ser calculado através do volume do digestor e do caudal de afluente, e deve ser sempre superior ao tempo de proliferação e desenvolvimento das bactérias metanogénicas.

É grandemente afectado pela temperatura e regra geral decresce se a temperatura for mantida elevada.

Tabela 3 - Valores típicos de TRH para diferentes modelos de digestor. (Santos, 2000)

Modelo de Reactor	TRH (dias)	Resíduo orgânico aplicável
Mistura Completa	10 - 60	Teor elevado de sólidos; resíduos concentrados
Contacto	12 - 15	Teor médio de sólidos; resíduos diluídos e semi-concentrados
UASB	0,5 - 7	Teor reduzido de sólidos; todo o tipo de concentrações
Filtro anaeróbio	0,5 – 12	Teor reduzido/médio de sólidos; todo o tipo de concentrações
Leito fluidizado	0,2 - 5	Teor reduzido de sólidos; resíduos de concentração média a muito elevada

Carga Orgânica:

A carga orgânica é a quantidade de matéria orgânica por unidade de volume de reactor e unidade de tempo. Pode-se calcular a carga orgânica através da concentração do resíduo e o tempo de retenção hidráulico.

Tabela 4 - Valores típicos de carga orgânica para diferentes modelos de digestor (Santos, 2000)

Modelo de reactor	Carga Orgânica $(kg\ CQO.m^{-3}.dia^{-1})$
Mistura completa	0,25 – 3
Contacto	0,25 – 4
UASB	10 – 30
Filtro anaeróbio	1 – 40
Leito fluidizado	1 – 50

2.6.Processos de Digestão Anaeróbia

Pode-se classificar mediante a temperatura de funcionamento, o processo de digestão anaeróbia, em 4 gamas de temperaturas diferentes:

- Psicofílica (15 – 25º C)
- Mesofílica (30 – 40ºC)
- Termofílica (50 – 60ºC)
- Hipertermofílica (75ºC)

Numa gama de 15 a 25ºC ter-se-á um regime psicrofílico, de 32 a 37ºC será o regime mesofílico e de 55 a 60ºC estar-se-á perante um regime termofílico (valores mais comuns). Aumentando ainda mais a temperatura ter-se-ia um regime hipertermofílico (75ºC). A maioria dos digestores opera em regime mesofílico visto que este regime tem uma maior produção de biogás em relação ao regime psicrofílico, e não tem necessidades energéticas tão elevadas como um sistema que opere no regime termofílico.

As duas gamas mais favoráveis são a Mesofílica e a Termofílica. Existem vantagens e desvantagens em ambos os processos. Na tabela 2 podemos ver as vantagens dos regimes Mesofílico e Termofílico.

Tabela 5 - Vantagens da digestão anaeróbia em regime mesofílico e termofílico. (Santos, 2000)

Mesofílico	Termofílico
Menor sensibilidade a variações das condições ambientais	Redução do tempo de retenção dos resíduos no digestor
Necessita de menos energia para manutenção da temperatura de digestão	Maior destruição de organismos patogénicos à passagem pelo digestor
Menor risco de "wash out" dos microrganismos, devido à sua maior velocidade de crescimento	Melhor e mais fácil decomposição do resíduo afluente, com maior produção de biogás
Menor risco de inibição por amónia	Menor produção de biomassa (material celular) em excesso
---	Maior facilidade de separação sólido/líquido do resíduo digerido

2.7.Avaliação de desempenho do processo anaeróbico

Para avaliar o desempenho do processo de digestão anaeróbia, pode-se avaliar a eficiência de remoção de matéria orgânica e a produção e composição do biogás. Também pode ser analisado o pH do efluente, a alcalinidade ou existência de ácidos gordos voláteis (AGV).

A eficiência de remoção traduz a fracção de matéria orgânica que é removida em relação à quantidade inicial alimentada no digestor. Geralmente o processo consegue remover 40 a 90% de matéria orgânica presente no resíduo.

Tabela 6 - Valores típicos de eficiência de remoção de matéria orgânica. (Santos, 2000)

Resíduo a tratar	Eficiência de redução de matéria orgânica
Lamas de esgoto doméstico	50 a 60%
Resíduos de pecuária	40 a 80%
Resíduos industriais	75 a 90%

A produção de biogás e sua composição em termos de metano e dióxido de carbono são também indicadores da eficiência do processo de digestão, uma vez que teoricamente o valor de metano produzido é-nos dado pela equação seguinte:

$$Metano\ produzido = \frac{0{,}35 m^3 CH_4}{kg\ CQO_{convertida}}$$

2.8.Síntese do Capítulo

Neste capítulo procurou-se fazer um apanhado geral sobre o funcionamento de digestores anaeróbios. Partindo de uma explicação do que consiste uma digestão anaeróbia, foi explicado e especificado os tipos de bactérias envolvidas nas diferentes etapas do processo. Referiram-se as lamas e afluentes que existem e que são tratados nestes sistemas, bem como a capacidade de produção de biogás e carga orgânica removida. Falou-se também da influência dos factores ambientais, e dos parâmetros de funcionamento dos diferentes digestores e modelos existentes.

Conclui-se que o processo de digestão anaeróbia é um processo complexo, levado a cabo por várias populações de bactérias anaeróbias, que podem operar em vários tipos de digestores diferentes, dependendo do tipo de resíduos que se pretende tratar e requalificar.

Os processos, consoante os parâmetros de funcionamento, podem ser executados em regimes diferentes. Os regimes com melhor desempenho, no processo de requalificação e na produção de biogás, são o regime mesofílico e o regime termofílico.

Os reactores anaeróbios carecem de uma alimentação energética para garantirem as condições óptimas do processo de tratamento de resíduos e para uma eficaz manutenção da população de bactérias. Pode ser usado um sistema de colector solar para o fornecimento de parte dessa energia. É neste contexto que no próximo capítulo será feita uma revisão bibliográfica sobre colectores solares.

3. Colectores Solares

3.1. Sumário

Neste capítulo e com base no caderno “Instalações Solares Térmicas” do INETI, no caderno “Conversão Térmica de Energia Solar” do SPES/ INETI e no caderno “Energia Solar, Movimento e Posicionamento relativos Terra - Sol” do IST, procedeu-se a uma revisão bibliográfica sobre Colectores Solares. Referiu-se os modelos de colectores existentes, o seu funcionamento, parâmetros de influência no desempenho e componentes que constituem estes sistemas, bem como a influência e importância de instalar os colectores na inclinação e orientação correctas.

3.2. Energia Solar

O Sol é uma fonte de energia vital para todos nós. É a fonte de energia principal e é responsável pela existência de todas as outras. Além disto, o Sol é um recurso inesgotável à escala mundial.

Segundo dados da WMO[1], esta fonte de energia é subaproveitada, visto que o Sol fornece anualmente aproximadamente 10000 vezes a energia consumida nesse período (cerca de $1{,}5 \times 10^{18} kWh$).

A radiação solar, incidente sobre uma superfície perpendicular ao eixo Terra/Sol, situada no topo da nossa atmosfera, é de $1367\ W/m^2$, e após atravessar a atmosfera a sua potência diminui em 30%, atingindo a superfície terrestre com uma potência de $1000\ W/m^2$.

Uma das maiores desvantagens, desta fonte energética é a necessidade de grandes áreas de colectores solares para que se possa captar radiação suficiente para os valores pretendidos.

A energia solar transmite-se por radiação electromagnética que é constituída por infravermelhos (46%), radiação visível (47%) e radiação ultravioleta (7%).

[1] WMO (World Metereological Organization)

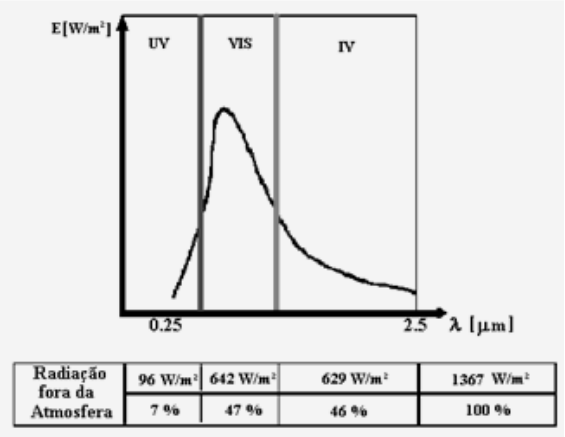


Figura 8 - Composição da radiação solar. (Costa, et al., 2006)

A radiação solar que atinge a superfície do nosso planeta tem três componentes:

- Radiação directa
- Radiação difusa (desviada em diferentes direcções pelos componentes da atmosfera como moléculas, gotas de água ou pó em suspensão)
- Radiação reflectida (reflectida pelo chão[2] e por objectos)

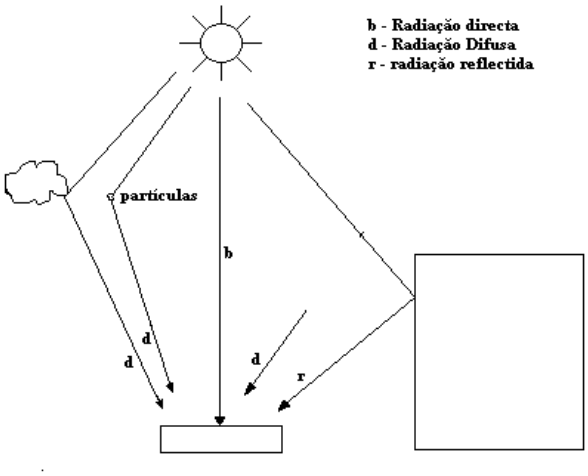


Figura 9 - Tipos de radiação solar. (Costa, et al., 2006)

[2] A reflectividade do chão designa-se por albedo e depende apenas da composição e cor do chão (neve, água, vegetação, etc.)

Cada vez mais, existe um aproveitamento desta fonte energética para conversão em energia térmica. As aplicações mais frequentes são a produção de AQS (Água Quente Sanitária) para consumo doméstico, aquecimento de piscinas, aquecimento ambiente com piso radiante e produção de água a temperaturas elevadas destinada a uso industrial.

3.2.1. Princípios básicos de aproveitamento da Energia Solar

Seja qual for o objectivo da aplicação, devem sempre ser tidos em conta alguns princípios básicos para que a eficácia no aproveitamento de energia seja maximizada.

É necessário usar o número adequado de colectores solares, bem como ter atenção à sua orientação e inclinação correctas para a localização geográfica do sistema.

Ao realizar o projecto de um sistema, deve ser tido em conta as necessidades energéticas do sistema a alimentar, garantindo assim o seu fornecimento e complementando o sistema com outra fonte de energia útil se necessário.

Deve ainda ser usado um acumulador exclusivamente para a energia produzida pelo colector, evitando assim desperdícios. Além disso, os sistemas que extraem energia solar, só conseguem operar durante uma parte do dia, visto que durante a noite não é recebida radiação solar, devido ao movimento de rotação da Terra.

3.3.Funcionamento dos colectores solares

Quando um corpo está exposto ao Sol, vai absorver energia que vai resultar no seu aquecimento. Ao mesmo tempo vão ocorrer perdas por radiação, convecção e condução.

Para captar o máximo de energia solar temos de ter um corpo que absorva como um corpo negro[3] e emita pouca radiação. É este o conceito de superfície selectiva.

[3] Corpo negro é aquele que absorve toda a radiação incidente sobre ele. É um corpo teórico, visto que tal não é possível.

3.3.1. Componentes do sistema

Um colector solar é constituído geralmente, por uma cobertura, uma placa absorvente e por uma caixa isoladora que vai diminuir as perdas de calor.

Na placa absorvente é soldada uma serpentina de tubos por onde circulará o fluído que será responsável pelas trocas térmicas, conforme se poderá ver na figura seguinte.

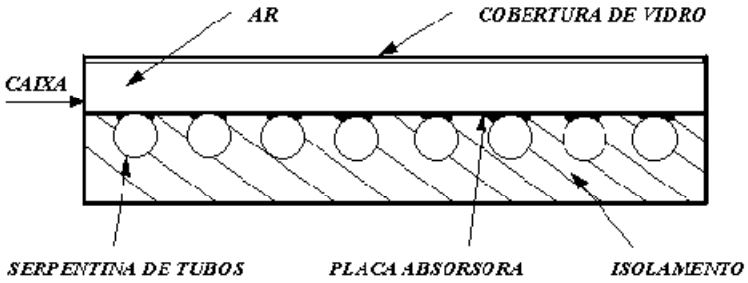


Figura 10 - Constituintes de um colector solar. (INETI, 2006)

A cobertura geralmente de vidro ou acrílicos, tem como função permitir a passagem de radiação e reduzir a perda de calor para o meio.

Para uma cobertura ser eficaz, esta deve ter uma boa transparência, deve provocar um efeito de estufa que vai melhorar o rendimento do colector e deve ser estanque à água e ar. Deve ainda apresentar elevada resistência às intempéries.

Para melhorar estas características podem ser efectuados dois tipos de tratamento à cobertura. Pode ser feito o tratamento anti-reflexo, diminuindo assim a reflexão dos raios incidentes, ou o tratamento que pretende que as radiações de elevado comprimento de onda sejam reflectidas.

Pode-se ainda, ter coberturas com vidro duplo, que provocam maior efeito de estufa logo o fluido absorvente vai atingir temperaturas mais elevadas, ideal para situações em que a temperatura do ambiente é mais baixa ou existem ventos fortes.

A placa absorvente tem o objectivo de receber energia, e converte-la em calor, para aquecer o fluído térmico. Deve por isso ser num material com elevada capacidade de absorção.

Existem diversos modelos de placas absorventes. Podem ser:

- Sistema de duas placas metálicas com uma separação de alguns milímetros, onde circula o fluído.
- Sistema Roll-Bond, de cobre ou alumínio, que consiste em duas placas de alumínio/cobre unidas, com um circuito impresso onde circula o fluído.
- Placa metálica absorvente onde se encontram tubos soldados.
- Sistemas absorventes de plástico (polipropileno), geralmente aplicado no aquecimento de piscinas.

O isolamento pode ser encontrado no sistema, entre a caixa e a placa absorvente, reduzindo assim perdas de energia por condução. Este isolamento é feito em materiais de elevada resistência térmica, geralmente em lã de vidro, lã de rocha, poliuretano, cortiça, etc.

A caixa tem como objectivo proteger o sistema de intempéries, e deve ser estanque a água, ar e resistente à corrosão

As tubagens são geralmente em cobre devido à sua elevada condutividade térmica, a sua resistência à corrosão, não necessitando de protecção.

3.3.2. Parâmetros de funcionamento e Influência da localização geográfica e inclinação dos colectores.

A Terra descreve uma órbita elíptica em torno do Sol, encontrando-se este num dos focos. Sabendo que a Terra roda sobre si mesma e completa uma rotação num dia, percorrendo a sua trajectória num ano e 6 horas. O seu eixo de rotação, denominado *eixo polar*, é quase perpendicular ao plano da trajectória elíptica que a Terra descreve, formando um ângulo de 23º 27'. Declinação é o ângulo formado entre a direcção da radiação e o plano do equador e varia entre + 23º 27' e -23º 27'.

Durante os equinócios da Primavera (21 de Março) e do Outono (22 de Setembro), os dias são iguais às noites, visto que a declinação solar é nula, ou seja, o Sol nasce a Este e põe-se a Oeste. Por sua vez durante o solstício de verão (23 de Junho) a declinação solar é de 23º 27'. Resulta na duração do dia ser maior que a noite. No solstício do inverno (22 de Dezembro), a declinação é igual mas de valor negativo e a duração do dia é inferior à da noite.

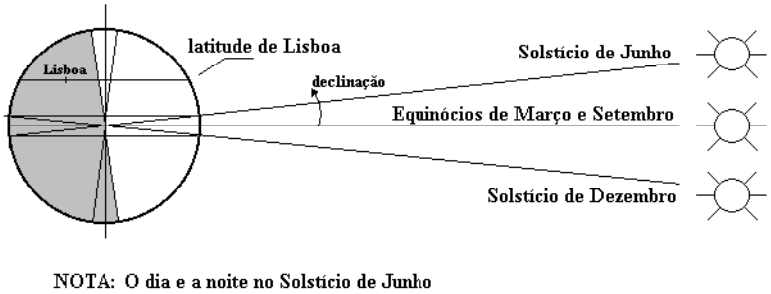


Figura 11 - Inclinações e ângulos da trajectória das radiações solares ao longo do ano. (Falcão, 2008)

Os colectores devem sempre ser instalados orientando-se ao Sul geográfico, não coincidente com o Sul magnético[4], de tal forma que ao longo do período de utilização seja aproveitado o máximo de radiação solar. O Sul geográfico pode também determinar-se pela direcção da sombra projectada por uma vara às 12 horas solar (meio-dia solar).

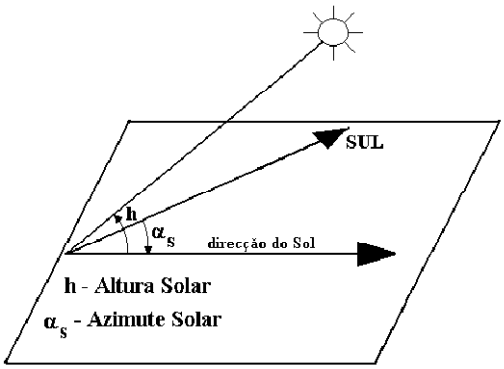


Figura 12 - Sul geográfico. (INETI, 2006)

[4] Na bússola o Norte geográfico está cerca de 5º para a direita do Norte magnético.

As inclinações que habitualmente se dão aos colectores, variam segundo a época do ano e uso. Variações de 10º relativamente ao ângulo de inclinação óptimo não afectam praticamente o rendimento e a energia térmica útil fornecida pelo equipamento solar. Desvios de orientação e inclinação superiores, devem compensar-se com uma maior superfície de colectores.

Por vezes é necessário instalar colectores solares em zonas não totalmente isentas de sombras. Torna-se conveniente para que seja possível haver uma instalação correcta, conhecer as sombras de uma fila de colectores sobre a fila seguinte, evitando estas situações. Se for representada a altura solar em função do azimute, obtêm-se mapas de trajectória solar, como é o caso das projecções estereográficas. Estas projecções são ferramentas muito úteis para conhecer as sombras projectadas por obstáculos a qualquer hora do dia, representados nestas, através das circunferências concêntricas.

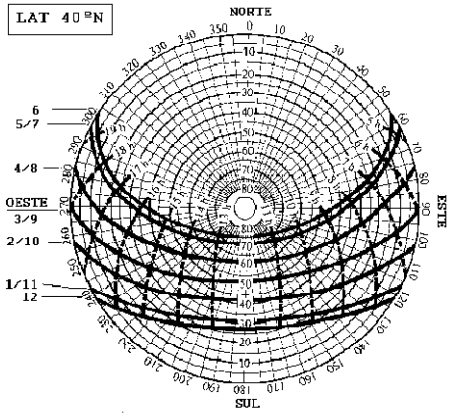


Figura 13 - Exemplo de uma projecção estereográfica. (Costa, et al., 2006)

Ao ter-se o cuidado, de instalar os sistemas correctamente e com a inclinação e orientação adequadas, está-se a maximizar a sua eficiência, pois está-se a maximizar a sua exposição a radiação solar. Daí a importância destas variáveis na fase de decisão e projecto de uma instalação.

3.3.3. Tipos de instalações

Existem vários tipos de colectores e podem ser mais ou menos adequados consoante a temperatura a que estarão sujeitos e consoante o objectivo da sua aplicação.

Podemos ter colectores planos, com ou sem cobertura, colectores concentradores (CPC[5]) com cobertura e colectores de tubo de vácuo.

A principal diferença entre os colectores planos e os CPC, reside na geometria da superfície absorvente, que no primeiro caso é plana e tem soldados os tubos onde passa o fluído e no caso dos CPC essa área tem duas alhetas colocadas em cima da superfície reflectora. Neste último sistema as perdas térmicas são menores pois a captação da radiação solar faz-se nas duas faces das alhetas.

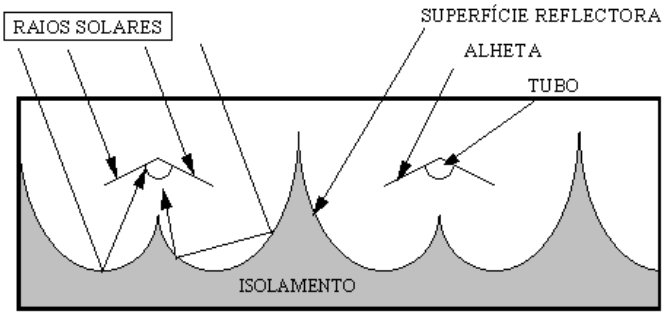


Figura 14 - Captação de radiação solar num CPC. (INETI, 2006)

Nos colectores de tubos de vácuo, indicados para temperaturas mais elevadas, ter-se-á um sistema mais eficaz e com melhor desempenho. Esta característica deve-se a haver vácuo entre a superfície absorvente e o vidro de cobertura, anulando perdas por convecção e condução.

Os sistemas podem ainda diferir quanto ao tipo de circuito hidráulico, que faz a ligação do colector ao sistema de armazenamento de energia ou ao sistema que se pretende acoplar e que irá beneficiar da energia térmica proveniente do colector. Este sistema hidráulico de circulação pode ser natural ou forçado e a escolha entre os dois deve ser feita com base da carga energética mínima que o sistema deverá fornecer.

[5] Colector Parabólico Composto

Os sistemas que funcionam com circulação natural ou termosifão são auto-regulados e isentos de avarias mecânicas ou controlos electrónicos, logo são economicamente mais atractivos, contudo são aconselháveis apenas para sistemas de pequena dimensão.

O processo de circulação termosifão funciona com base nas diferentes densidades do fluído térmico. Ao aquecer, o fluído aquece e torna-se menos denso, fazendo o percurso ascendente que o levará ao sistema desejado ou ao depósito. Após arrefecer, torna a ficar mais denso, deslocando-se então para o colector novamente.

Quanto maior for a temperatura atingida pelo fluído maior será o caudal, e se não houver energia solar suficiente, a circulação pára. Se não houver alguns cuidados, durante a noite poderá mesmo ocorrer circulação invertida, passando o colector solar a funcionar como dissipador de energia.

Para que o processo decorra de forma eficaz, o colector deve estar abaixo do depósito e para evitar circulação inversa deve haver um desnível de cerca de 30 cm entre o topo do colector e a parte mais baixa do depósito ou sistema. Em alternativa poderá ser usada uma válvula anti-retorno para impedir a circulação inversa, mas terá um custo acrescido.

Na circulação forçada são usadas válvulas e uma bomba para criar pressão necessária para promover o movimento do fluído térmico.

É ainda de referir que o fluído térmico pode circular e operar directa ou indirectamente. Se a transferência térmica for directa, temos um sistema em que o fluído (geralmente água) é aquecido no colector e é enviado directamente para o consumo. Se for indirectamente o fluído térmico é aquecido, e circulando em circuito fechado, num permutador de calor interno ou externo a um depósito, vai efectuar o aquecimento de um fluído para consumo, que circula num outro circuito.

No primeiro caso existirão vários inconvenientes, apesar de ser o mais simples e menos dispendioso, tornando-se assim num modelo desaconselhável. Exemplos de inconvenientes:

- Os materiais utilizados em todo o circuito e no colector, têm de ser não poluentes, no caso do fluído ser para consumo humano.
- A pressão de trabalho tem de ser a mesma da rede (no caso de o sistema funcionar para A.Q.S.), ou será necessária uma válvula redutora de pressão.
- Os riscos de corrosão e dano nos componentes do sistema são maiores
- Existe perigo de incrustações de calcário, caso o fluído seja água.

Este tipo de sistemas, no inicio, apresenta uma maior eficiência que os sistemas de circuito indirecto. Contudo essa eficiência vai diminuindo com o tempo e com o funcionamento. Provavelmente devido aos inconvenientes referidos.

3.4.Eficiência dos sistemas

A eficiência do sistema depende de várias coisas, nomeadamente dos componentes do sistema, da localização do sistema, da altura do ano em que é feita a análise do desempenho, do fluído térmico, da exposição à radiação solar, existência de sombras, temperaturas desejadas, etc.

Este desempenho do sistema tendo em consideração que ele é composto pelo colector solar, pelo circuito hidráulico e pelo depósito de acumulação, pode ser calculado, de forma simples, através da comparação entre a radiação solar disponível num período de tempo e o aumento de temperatura do fluído no interior do depósito.

Para efectuar este cálculo, pode ser usada a seguinte expressão:

$$\eta = \frac{m \times C_p \times \Delta T}{I_g \times A \times t}$$

em que m é massa de água $[kg]$, C_p calor específico a pressão constante da água $[J/(kg.°C)]$, ΔT intervalo de temperatura $[°C]$, I_g radiação global solar $[W/m^2]$, A área de colector $[m^2]$ e t o período de tempo.

3.5.Síntese do capítulo

Um colector solar é um sistema que extrai energia da radiação solar e procede à sua conversão em energia térmica. Se for feita uma ponderação prévia e for tida em conta a localização geográfica do sistema ao qual é acoplado o colector, pode-se tirar o máximo partido da radiação e pode-se ter um sistema a operar com a máxima eficiência possível. Essa ponderação deve incluir o tipo de sistema mais adequado às necessidades energéticas, os parâmetros em que o sistema irá funcionar e os componentes do sistema.

No próximo capítulo serão apresentados os casos de estudo, onde será definido que tipo de sistema colector solar será usado para os sistemas digestores que foram escolhidos. Serão também definidos e caracterizados todos os parâmetros e variáveis que farão parte da análise de cada caso, e será feita uma análise de eficiência e viabilidade técnica e económica usando o software RETScreen.

4. Descrição do caso de estudo

4.1. Sumário

Neste capítulo será explicado detalhadamente a análise dos casos de estudo e serão também definidas todas as variáveis que influenciam o desempenho do sistema. Serão também explicados os métodos de cálculo usados.

O estudo de viabilidade técnica e económica será feito no software RETScreen.

4.2.Software RETScreen

O RETScreen é uma ferramenta muito útil em análises de viabilidade, de sistemas que utilizem energias renováveis. É um software canadiano, de utilização gratuita e que funciona a partir do Microsoft Excel.

Para se proceder a uma análise usando este programa, tem de se definir vários parâmetros que serão dados como inputs, tais como a localização geográfica do sistema, a finalidade deste, os caudais necessários, as temperaturas de funcionamento, que tipo de equipamento podem ser utilizados e se haverá necessidade de implementar equipamentos auxiliares, que consumirão combustíveis fósseis. Podem ser definidas taxas de juro, preços dos combustíveis, valor dos investimentos a serem feitos inicialmente e ao longo do tempo de vida do projecto, entre outros. Com estes inputs já é possível obter uma análise mais ou menos exacta da viabilidade técnica e económica do projecto em análise.

Alguns dos outputs mais importantes deste software são o tempo de retorno do investimento, a taxa de retorno de interna, o valor actual líquido, a poupança anual obtida, o cálculo dos consumos energéticos, o cálculo de diminuição de emissões de CO_2 para a atmosfera, etc.

O RETScreen é um software muito atractivo para análises de sistemas energéticos visto que possui uma extensa base de dados com valores climatéricos de muitas localizações geográficas, nomeadamente de Portugal.

Além dos dados climatéricos, possui uma base de dados com equipamentos de diversas marcas, com vários modelos e com as características principais dos equipamentos. Com base nos dados desses equipamentos, o software pode basear-se na geometria dos painéis para proceder ao cálculo da radiação solar absorvida, tendo em conta o factor de correcção local para o vento, por exemplo, dando assim o valor para a quantidade energética que obtemos com o sistema e calculando a quantidade de energia suplementar que a caldeira terá de fornecer.

É de fácil utilização e muito intuitivo, para além de não carecer de hardware com características especiais para funcionar eficazmente.

Para facilitar a utilização do software, existe um código de cores, que permite ao utilizador, identificar que inputs são imprescindíveis para o cálculo e construção do modelo de análise. As células preenchidas a cor branca são outputs do software e são calculadas por este, por sua vez as células a amarelo são inputs que o utilizador deve fornecer ao programa pois são variáveis necessárias para que este possa efectuar os cálculos. Existem também as células preenchidas a azul, que são igualmente inputs definidos pelo utilizador, mas que podem ser obtidos através de uma das bases de dados do software. Por último existem as células cinzentas que apesar de serem inputs, são de menor importância e não são necessárias para que os cálculos sejam efectuados, sendo muitas vezes valores de referência.

Os inputs são introduzidos em secções correspondentes à análise a ser feita, isto é, os inputs referentes aos cálculos energéticos são introduzidos na análise energética, os inputs referentes aos custos e investimentos monetários são tratados na análise de custos. Existe ainda uma análise de emissões, uma análise financeira e uma análise de riscos.

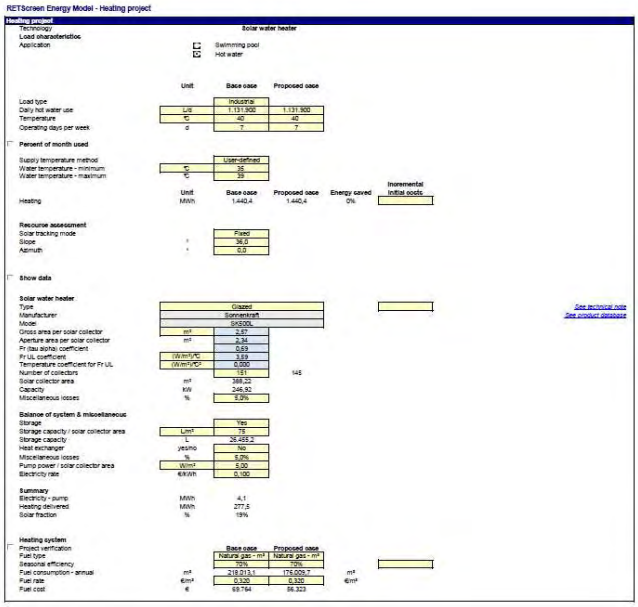


Figura 15 - Exemplo do ambiente de trabalho de uma análise em RETScreen.

4.3.Definição dos vários casos de estudo

Com o objectivo de proceder a uma análise de viabilidade optou-se por fazer uma comparação entre sistemas e localizações geográficas. Assim ter-se-á 8 casos de estudo distintos.

O resíduo escolhido para ser tratado nos sistemas deste trabalho é chorume animal, mais precisamente suíno. Este tipo de resíduos é abundante no nosso país e ao não ser tratado pode contaminar solos, disseminar doenças, etc. É resultado da mistura de fezes, urina e água de lavagens dos estábulos e currais, podendo assim a sua consistência e composição variar muito, dependendo da alimentação e metabolismo dos animais, da quantidade de água gasta para a limpeza das instalações, distribuição dos animais, etc.

Para quatro casos de estudo, foi escolhido um digestor UASB (“Upflow Anaerobic Sludge Blanket” ou Leito de lamas anaeróbio de fluxo ascendente), com 1060m^3 de volume, de Betão com Ø15m e 6m de altura, em que 3m estariam abaixo do nível do solo, para aproveitar a inércia do solo como isolamento térmico. A espessura, das paredes do digestor é de 0,03m excepto no topo superior onde é de 0,01m.

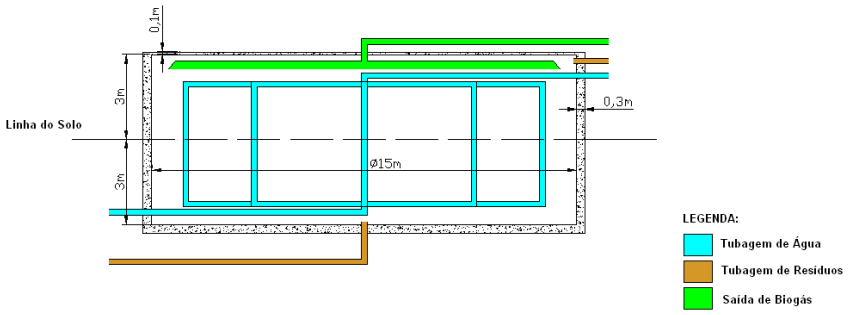


Figura 16 - Esquema com vista de frente, em corte, do digestor UASB usado.

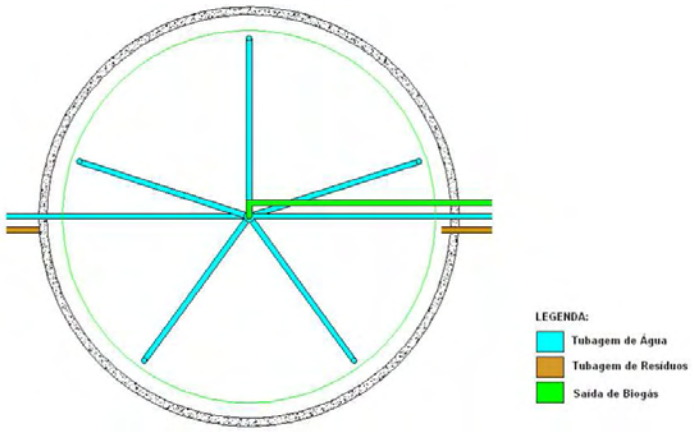


Figura 17 - Esquema com vista superior, em corte, do digestor UASB.

Este sistema depende da capacidade da formação de grânulos por parte dos microrganismos. A imobilização da biomassa é conseguida com base nessa capacidade, havendo a formação de densos agregados, tipicamente esféricos com cerca de 1 a 5 mm de diâmetro, que devido à sua densidade elevada, sedimentam, permanecendo no digestor.

O sistema UASB é composto por quatro componentes principais: um leito de lamas, um manto de lamas, um separador gás/sólido e um compartimento de decantação. O afluente entra no digestor pela parte inferior tendo contacto com o leito de lamas, passando depois a ter contacto com o manto de lamas em suspensão. Isto vai facilitar o contacto com os grânulos, permitindo assim que o processo de digestão seja facilitado. O tempo de retenção hidráulica nestes sistemas varia entre 0,5 e 7 dias, optamos por tomar o valor de 5 dias.

Para os restantes quatro casos de estudo, será usado um digestor Plug-Flow com um volume de 962m^3, de Betão, com Ø7m e 25m de comprimento. Também este sistema é colocado com metade do seu volume abaixo do nível do solo. A espessura das paredes é de 0,03m.

Este modelo de digestor é muito usado em Portugal, como referido no capítulo 2. O resíduo é introduzido num dos extremos, provocando um deslocamento da massa de resíduo que se encontra no digestor, obrigando uma quantidade igual de resíduo a sair no outro extremo. À medida que o biogás se vai formando vai sendo captado por uma tela flexível impermeável ao gás. Este sistema tem tempos de retenção hidráulica muito maiores que o sistema UASB, o que permite compensar a sua muito menor eficácia. O TRH neste caso é de 25 dias.

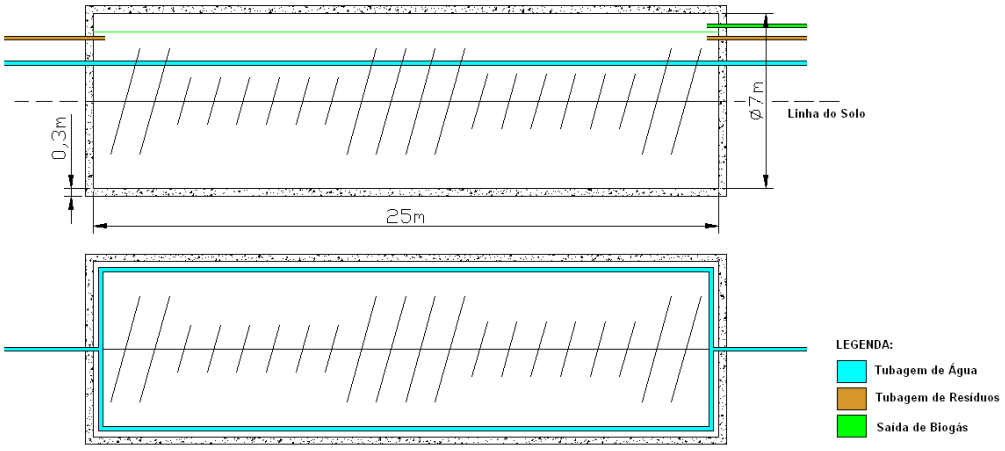


Figura 18 – Esquema com vista de frente e superior, em corte, do Digestor Plug-Flow usado.

Estes sistemas funcionarão em regime Mesofílico (37º±2ºC) e em regime Termofílico (55º±2ºC), e em duas localizações geográficas distintas, Guarda e Beja.

Tabela 7- Caracterização dos casos de estudo.

Caso	Tipo de Digestor	Volume (m^3)	TRH (Dias)	Caudal de Afluente (m^3/Dia)	Regime de Operação	Localização Geográfica
1	UASB	1060	5	212	Mesofílico	Beja
2	UASB	1060	5	212	Termofílico	Beja
3	UASB	1060	5	212	Mesofílico	Guarda
4	UASB	1060	5	212	Termofílico	Guarda
5	Plug-Flow	962	25	38,5	Mesofílico	Beja
6	Plug-Flow	962	25	38,5	Termofílico	Beja
7	Plug-Flow	962	25	38,5	Mesofílico	Guarda
8	Plug-Flow	962	25	38,5	Termofílico	Guarda

Teve que ser definido que tipo de colector usar para o nosso sistema, considerando as diferentes características dos diferentes tipos de colectores.

Colectores solares sem cobertura[6] caracterizam-se pelo seu baixo custo, por serem robustos mas leves, por terem baixo desempenho em climas frios ou ventosos e por serem apropriados para fornecer temperaturas mais baixas, por exemplo indicados para piscinas.

Colectores solares com cobertura[7], são ligeiramente mais caros, tendo um custo moderado. A pressão de operação é mais elevada, podendo operar À pressão de rede. São mais pesados e frágeis que os modelos anteriores.

Os colectores com tubo de vácuo são os mais caros e os mais frágeis, contudo permitem resolver a questão do congelamento do fluído operante, no inverno, e as perdas por convecção deixam de ser um problema. Permitem ainda, atingir temperaturas mais elevadas.

Para a análise de viabilidade deste trabalho, optou-se por implementar colectores solares com cobertura, pelas suas características mais adequadas ao caso do sistema.

[6] unglazed
[7] glazed

4.4. Cálculo de consumo energético e necessidades de alimentação nos vários casos de estudo

Tendo então definido os parâmetros e as variáveis que serão analisadas neste trabalho, pode ser iniciado o cálculo de necessidade energética e de consumo.

Para o fornecimento de calor ao sistema será usado um sistema de colectores solares, onde será aquecida água até a uma temperatura constante. Esta água irá proceder ao pré-aquecimento do resíduo afluente, antes de este dar entrada no digestor, através de um permutador de calor, num tanque de pré-aquecimento (por exemplo, um silo de armazenamento). A água, por meio de tubagens de cobre que irão percorrer o interior dos digestores, irá também compensar as perdas térmicas pela envolvente.

Para o cálculo de aquecimento do afluente foi calculada a capacidade mínima do permutador de calor. Sabendo que o calor específico (c_p) do chorume tem um valor semelhante ao das águas residuais[8], foi necessário calcular o caudal de afluente e o intervalo de temperaturas.

O caudal é calculado partindo do TRH e do volume do digestor. Sabendo que

$$TRH = \frac{Volume\ do\ digestor}{Caudal\ de\ Afluente}$$

pode-se retirar o valor de caudal do afluente. Por sua vez o intervalo de temperaturas é calculado fazendo a diferença entre a temperatura que se pretende atingir (a temperatura de operação) e a temperatura em que o afluente se encontra, que se considerou 12ºC em todos os casos.

$$\Delta T = T_{operação} - T_{inicial}$$

Podemos então calcular a potência necessária para aquecer o afluente conforme pretendido, para o bom funcionamento do digestor. Esta potência será considerada a potência mínima que o permutador terá que possuir.

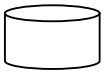
[8] $c_p = 4{,}18\ kJ/kgK = 1{,}161\ kWh/m^3K$ (Pagliuso, et al., 2008)

$$Q_a = c_p \times \dot{m} \times \Delta T$$

Para a compensação das perdas energéticas do digestor tem de se fazer alguns cálculos.

Primeiramente calculam-se as áreas das superfícies por onde ocorrerem as perdas. Os sistemas são diferentes e podem ser vistos os cálculos das diferentes áreas na tabela seguinte.

Tabela 8 - Cálculos de áreas das superfícies dos digestores

Sistema	Volume (m^3)	Altura / Comprimento (m)	Diâmetro da Base / Parede Lateral (m)	Área da Base / Parede Lateral (m^2)	Área da Parede Lateral / Base (m^2)	Esquema
UASB	1060	6	15	176,72	141,37	
Plug-Flow	962	25	7	38,5	274,89	

O cálculo da potência necessária para compensar as perdas pela envolvente, acaba por ser o somatório das perdas pelas várias superfícies. Assim, a potência para cada superfície será

$$Q_p = U \times A_{Superfície} \times \Delta T$$

Neste caso ΔT será a diferença entre a temperatura que necessitamos ter no interior do digestor e a temperatura exterior.

O coeficiente de transferência térmica das diferentes partes e superfícies de um digestor anaeróbio de betão podem ser consultados na tabela da página seguinte.

Tabela 9 - Coeficientes de Transferência Térmica para as diferentes partes de um digestor anaeróbio em betão, semi-enterrado no solo. (Santos, 2000)

Parte do Digestor	Coef. Trans. Térmica UΞk ($W.m^{-2}.ºC^{-1}$)
Acima do Solo	
Parede de betão com 30 cm de espessura sem isolamento	4,7 – 5,1
Parede de betão com 30 cm de espessura com parede dupla	1,8 – 2,4
Parede de betão com 30 cm de espessura com isolamento	0,6 – 0,8
Cúpula fixa em betão com 10 cm de espessura sem isolamento	4,0 – 5,0
Cúpula fixa em betão com 10 cm de espessura com isolamento	1,2 – 1,6
Cúpula fixa em betão com 20 cm de espessura sem isolamento	3,0 – 3,6
Abaixo do Solo	
Parede de betão rodeada de terra seca	0,6 – 0,7
Parede de betão rodeada de terra húmida	1,1 – 1,4
Base em betão rodeada de terra seca	0,6 – 0,7
Base em betão rodeada de terra húmida	1,1 – 1,4

O diferencial de temperaturas depende da localização geográfica e das condições climatéricas. Note-se que para cálculo de um projecto deve ser tido em conta o pior cenário, como tal e como o objectivo deste sistema é aquecer, os cálculos devem ser efectuados tendo em conta a temperatura mais baixa registada na localização geográfica escolhida. Os dados climatéricos usados foram retirados do banco de dados do software RETScreen, para as duas localizações geográficas escolhidas na análise deste projecto, Beja e Guarda.

	Unidade	Localização dos dados climáticos	Localização do Projeto
Latitude	°N	38,0	38,0
Longitude	°E	-7,9	-7,9
Elevação	m	247	247
Temperatura para projeto de aquecimento	°C	3,4	
Temperatura para projeto de refrigeração	°C	35,1	
Amplitude da Temperatura do Solo	°C	22,8	

Mês	Temperatura do Ar	Humidade relativa	Radiação solar diária - horizontal	Pressão Atmosférica	Velocidade do Vento	Temperatura do Solo	Graus-dia mensal p/ aquecimento	Refrigeração graus-dias
	°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Janeiro	9,1	82,0%	2,37	99,3	3,3	8,5	276	0
Fevereiro	10,3	79,7%	3,20	99,2	3,4	10,2	216	8
Março	12,6	72,5%	4,46	99,0	3,3	14,3	167	81
Abril	13,5	73,4%	5,43	98,7	3,8	17,8	135	105
Maio	16,7	69,6%	6,23	98,7	3,5	23,7	40	208
Junho	20,9	61,0%	7,36	98,8	3,4	30,2	0	327
Julho	23,8	55,8%	7,51	98,7	3,7	33,2	0	428
Agosto	23,7	57,2%	6,73	98,7	3,5	31,6	0	425
Setembro	21,6	62,2%	5,13	98,8	3,4	26,5	0	348
Outubro	17,2	72,1%	3,41	98,9	3,3	19,6	25	223
Novembro	13,1	81,3%	2,43	99,0	3,3	13,6	147	93
Dezembro	10,5	84,2%	1,97	99,2	3,3	10,2	233	16
Anual	16,1	70,9%	4,69	98,9	3,4	20,0	1.239	2.261
Medido a	m				10,0	0,0		

Figura 19 - Dados climatéricos de Beja. (RETScreen International, 1997-2008)

	Unidade	Localização dos dados climáticos	Localização do Projeto
Latitude	°N	40,6	40,6
Longitude	°E	-7,3	-7,3
Elevação	m	474	474
Temperatura para projeto de aquecimento	°C	1,4	
Temperatura para projeto de refrigeração	°C	28,9	
Amplitude da Temperatura do Solo	°C	20,7	

Mês	Temperatura do Ar	Humidade relativa	Radiação solar diária - horizontal	Pressão Atmosférica	Velocidade do Vento	Temperatura do Solo	Graus-dia mensal p/ aquecimento	Refrigeração graus-dias
	°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Janeiro	6,8	77,0%	1,99	96,7	4,1	6,0	347	0
Fevereiro	7,8	73,2%	2,83	96,6	4,3	7,5	287	0
Março	10,6	61,5%	4,06	96,4	4,2	11,4	230	18
Abril	12,3	58,5%	4,90	96,0	4,0	14,3	171	69
Maio	16,2	52,2%	5,88	96,1	3,7	19,7	55	193
Junho	21,1	43,2%	7,06	96,2	3,3	25,7	0	334
Julho	23,7	40,0%	7,23	96,2	3,4	28,6	0	425
Agosto	23,0	44,3%	6,40	96,2	3,3	27,0	0	402
Setembro	20,1	51,9%	4,77	96,3	3,2	22,5	0	302
Outubro	15,4	64,6%	3,01	96,3	3,4	16,0	81	167
Novembro	10,8	73,7%	2,08	96,3	3,7	10,4	215	25
Dezembro	8,3	77,2%	1,67	96,5	4,1	7,4	302	0
Anual	14,7	59,7%	4,33	96,3	3,7	16,4	1.686	1.936
Medido a	m				10,0	0,0		

Figura 20 - Dados climatéricos da Guarda. (RETScreen International, 1997-2008)

Com os dados referidos, já se pode proceder ao cálculo das potências mínimas dos sistemas, requeridas para fornecimento adequado às necessidades energéticas sentidas.

Tabela 10 - Potências mínimas calculadas para os diferentes sistemas.

Caso	Aquecimento do Afluente		Compensação de perdas	
	(kW)	(kWh/Dia)	(kW)	(kWh/Dia)
1	256,39	6153,3	17,390	417,362
2	440,987	10583,7	28,523	684,558
3	256,39	6153,3	18,857	452,573
4	440,987	10583,7	29,990	719,768
5	46,561	1117,6	13,247	317,933
6	80,085	1922,04	21,709	521,006
7	46,561	1117,6	14,372	344,930
8	80,085	1922,04	22,834	548,006

Obtendo estes valores, será possível saber qual a capacidade mínima que o nosso sistema deve ter, de forma a satisfazer as necessidades energéticas que serão sentidas. Para se obter essa potência mínima ter-se-á de somar as duas potências que foram calculadas, para cada caso.

Tabela 11 - Potências mínimas do sistema.

Caso	Potência (kWh/Dia)
1	6570,66
2	11268,3
3	6605,87
4	11303,5
5	1435,53
6	2443,05
7	1462,53
8	2470,05

Para se proceder ao cálculo do caudal de água quente que será necessária para transferir calor, usar-se-á a potência, o cp da água e o intervalo de temperatura a que água é sujeita. Sabendo que

$$Q = c_p \times \dot{m} \times \Delta T \Leftrightarrow \dot{m} = \frac{Q}{c_p \times \Delta T}$$

Tabela 12 - Caudal de água a ser aquecido.

Caso	Caudal de água quente necessário (m^3/Dia)
1	1131,9
2	1941,13
3	1137,96
4	1947,19
5	247,29
6	420,85
7	251,94
8	425,50

Tendo calculado a potência mínima necessária, o caudal de água diário, sabendo o volume e as temperaturas de funcionamento do sistema e as localizações geográficas, pode ser dado inicio à análise no RETScreen.

4.5. Cálculo da Produção de Biogás em cada sistema

Para se proceder ao cálculo do gás produzido como resultado da digestão anaeróbia, fizeram-se alguns cálculos e tiveram-se em consideração as eficiências dos sistemas.

Sabe-se que a produção teórica de Metano é de 0,35m^3 CH_4/kg de CQO (Santos, 2000), contudo na prática este valor não é atingido devido a uma série de factores. Temos de ter em conta que existe uma pequena fracção de matéria que é degradada pelos microrganismos, para garantir a sua manutenção e crescimento (tipicamente 5%), além disso existe sempre uma parte de material orgânico que se perde com o efluente.

Outro factor a ter em conta é a biodegradabilidade da matéria não ser total. Existem sempre compostos fibrosos como a lenhina que provêm da alimentação ou das camas dos animais, que não são biodegradáveis de forma anaeróbia. Podem existir aglomerados que impeçam o contacto da matéria com as bactérias. Isto tudo, contando que as condições de digestão estão asseguradas.

Sendo o resíduo escolhido chorume de suíno, existem três situações distintas, com produções de resíduo diferentes, como se pode ver na tabela seguinte.

Tabela 13 - Produção de resíduos para as diferentes situações.

Situação/tipo de animal	Chorume produzido (l/dia)	CQO (g/l)
Lugar de porca reprodutora em ciclo fechado	70	33,3
Lugar de porca reprodutora em criação de leitões	85	29,7
Lugar de porco em exploração de engorda	60	36,1

A situação que foi escolhida para a nossa análise foi a de lugar de porco em exploração de engorda.

Contando que a biodegradabilidade deste resíduo será de 80% e que a fracção usada pelas bactérias para sua manutenção será de 5%, para os primeiros 4 casos, este tipo de digestor possui uma eficiência de 80%, então pode ser calculado o volume de biogás produzido.

$$60\, l/(animal \cdot dia) \times 36{,}1 \times 10^{-3}\, kgCQO/dia = 2{,}166\, kgCQO/(animal \cdot dia)$$

Mas só 80% são degradáveis, logo

$$2{,}166 \times 0{,}80 = 1{,}733\, kgCO/(animal \cdot dia),$$

além disso o digestor possui uma eficiência de 80%, logo

$$1{,}733 \times 0{,}80 = 1{,}386\, kgCQO/(animal \cdot dia).$$

Sabendo que as bactérias irão usar 5% de matéria orgânica para a sua manutenção, só irá ser usado 95% na produção, obtendo

$$1{,}386 \times 0{,}95 = 1{,}317\, kgCQO/(animal \cdot dia).$$

A produção teórica de Metano é de 0,35m^3 CH_4/kg de CQO, logo

$$1{,}317 \times 0{,}35 = 0{,}461\, m^3 CH_4/(animal \cdot dia),$$

e o biogás produzido detém 70% de metano,

$$0{,}461/0{,}70 = 0{,}659\, m^3/(animal \cdot dia).$$

Para ser estimado o número de animais, que produzem a quantidade de resíduos que o digestor consegue digerir, usa-se o caudal de afluente que é tratado e o valor de produção de resíduo diária por animal, que foi considerado ser de $60\, l/(animal \cdot dia)$.

Sabendo que nos primeiros 4 casos ter-se-á um caudal de afluente de $212 m^3/dia$, calcula-se $212/0{,}06 = 3533{,}33 \cong 3530\, animais$. Então pode ser calculada a produção total diária multiplicando pelo número de animais.

$$3530 \times 0{,}659 = 2326{,}3\, m^3/dia$$

Num ano serão produzidos aproximadamente 849100 m^3 de biogás pelo processo de digestão.

Sabe-se também que a relação de equivalência energética bruta do biogás e do Gás Natural é de 1m^3 de biogás com 70% de metano, para 0,62m^3 de Gás Natural. (Dep. de Estratégia e Gestão Ambiental Sustentável, 2005)

Sabendo esta relação pode-se calcular a quantidade de gás natural que pode ser poupada, usando na caldeira o biogás produzido. Assim não haverá necessidade de despender tanto dinheiro anualmente em combustíveis. Além de que se poupam nos custos a nível do ciclo de vida do combustível, que já não carece de ser transportado para chegar até ao sistema, por exemplo.

Poupam-se então $849100 \times 0{,}62 = 526442 m^3$ de Gás Natural por ano. Isto vai traduzir-se numa poupança anual de 173726€, uma vez que o preço do metro cúbico de Gás Natural para consumidores intensivos é de 0,33€/m^3.[9] (ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, 2009)

Este cálculo foi feito para o regime mesofílico. Para condições de operação em regime termofílico, a produção de biogás será superior em 25% a 50%, logo a poupança será maior.

[9] Segundo as facturas da Galp Energia, o factor de conversão de m^3 para kWh é 11,84, sendo este o valor usado nos cálculos deste trabalho para determinar o preço em €/m^3 de Gás Natural, baseando esse cálculo nas tarifas e preços constantes no relatório da ERSE.

Ter-se-á então (considerando 25% de acréscimo de produção) uma produção de 1061380m^3 de biogás nos casos 2 e 4. Este valor é equivalente e 658056m^3 de Gás Natural, o que se traduz numa poupança de 217158€/ano.

Para os sistemas com digestor de Plug-Flow, sendo o caudal de 38,5m^3/dia de afluente, só será conseguido o tratamento de resíduos de cerca de 640 animais.

Sabendo que a eficiência destes digestores é menor, considerou-se que essa eficiência seria cerca de 50%. Assim, tendo uma biodegradabilidade igual, visto que o resíduo é o mesmo

$$1{,}733 \times 0{,}50 = 0{,}867\, kgCQO/(animal \cdot dia).$$

As bactérias irão usar 5% para a sua manutenção, logo:

$$0{,}867 \times 0{,}95 = 0{,}824\, kgCQO/(animal \cdot dia)$$

Multiplicando pelo valor da produção de metano teórica,

$$0{,}824 \times 0{,}35 = 0{,}288\, m^3 CH_4/(animal \cdot dia),$$

logo como o biogás tem 70% de metano

$$0{,}288/0{,}70 = 0{,}411\, m^3/(animal \cdot dia).$$

Sendo 18 animais a produzir o resíduo,

$$0{,}411 \times 640 = 263{,}04\, m^3/dia.$$

Num ano, produz-se aproximadamente 96010 m^3 de biogás, o que se traduzirá numa poupança de $96010 \times 0{,}62 = 59526{,}2 m^3$ de Gás Natural por ano. Assim poupam-se cerca de 19644€ por ano em combustível, para os casos 5 e 7, aqueles que operam em regime mesofílico.

Em regime termofílico a produção de biogás será de 120013m^3, o que corresponde a 74408m^3 de Gás Natural, sendo então a poupança atingida de 24555€/ano nos casos 6 e 8.

4.6.Estudo de viabilidade técnica e económica dos sistemas

Para se iniciar a análise, tem de se introduzir os dados de base, indicando assim o objectivo da instalação e a localização geográfica desta. Definidos estes parâmetros, procede-se à introdução dos inputs das variáveis que caracterizam o modelo energético, consumos no caso de estudo e tipo de equipamentos utilizados. Os inputs que foram definidos nos diversos casos foram o caudal de água quente necessária por dia, o intervalo de temperaturas dessa água, dias de funcionamento do sistema, que será sempre de 7 dias por semana. Definiram-se também os equipamentos para todos os casos de estudo, sendo o escolhido um colector da marca Sonnenkraft SK500L. Este modelo é de um colector solar com cobertura, e foi o modelo escolhido pois era o tipo de colector mais adequado para as necessidades de temperatura.

Foi ainda definida a inclinação do colector de forma a maximizar a sua eficiência.

Seguidamente efectuou-se uma análise de custos, onde foram dados os valores que haviam sido calculados e estimados.

Ficou definido que o preço da instalação do colector solar deve rondar 650€/m^2. Este valor tem incluído o preço das tubagens de ligação, a instalação, o transporte, a caldeira auxiliar, etc. Para se chegar a este valor consultaram-se os catálogos de 2009 da marca, disponíveis na Internet. Foi também definido que periodicamente[10], poderá ser gasto dinheiro em substituição de componentes do sistema, que apresentem avarias, como bombas ou válvulas, ou mesmo tubagens.

Os custos anuais de manutenção e limpeza poderão rondar os 320€ (quatro dias de trabalho, um por trimestre, sendo 80€ por dia). O preço do Gás Natural ronda os 0,33€/m^3 uma vez que a instalação é considerada industrial e em que o consumo é superior a 10000m^3/ano. (ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, 2009)

[10] Periodicamente, em intervalos de 5 anos.

Ter-se-ia de pagar ao engenheiro/a que faria o estudo inicial, um valor que rondaria os 7500€ pelo projecto.

Se fosse necessário construir os digestores seria necessário suportar custos acrescidos, uma vez que existiriam os custos do espaço onde estariam as instalações, a mão-de-obra para a construção das infra-estruturas e ainda os materiais necessários. Contudo nesta análise, será assumido que os digestores já existem e que apenas serão instalados os sistemas de colectores e de aquecimento.

Devido à produção de biogás resultante da digestão dos resíduos, pode haver uma poupança no consumo de Gás Natural que teria de ser adquirido. Assim, obter-se-ia uma poupança de cerca de 173726€/ano nos casos em que é usado um sistema UASB em regime Mesofílico, 217158€/ano em regime Termofílico e uma poupança de 19644€/ano nos casos em que se usou um Plug-Flow em regime Mesofílico e 24555€/ano em Termofílico.

A análise de emissões dará o valor de toneladas de CO_2/ano, que deixarão de ser emitidas pelo sistema, após o acoplamento dos colectores solares. Esta análise dará também o valor da quantidade equivalente de veículos ligeiros que seriam responsáveis por essa emissão, permitindo ficar melhor esclarecido do nível de impacto ambiental que tem uma alteração do sistema.

Deve ser referido que o fabrico de colectores solares também tem impacto ambiental, pois ao longo do ciclo de vida destes sistemas, há emissões que não estão a ser contabilizadas nesta análise.

Em Portugal a legislação existente actualmente, sobre os níveis de emissões, e sobre os benefícios fiscais ou remunerações e apoios devido a implementação de sistemas que reduzam estes níveis, não se aplicam aos valores do sistema. Teria de se reduzir emissões na ordem das $MtCO_2$/ano para se estar abrangido pela legislação, usufruindo assim de apoios. Contudo em outros países como o Brasil, existe legislação em vigor que cobriria as reduções do sistema. (Governo Federal - Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, 2008)

Na análise financeira, pode ser definido o tempo de vida do projecto, que nos nossos casos, foi de 25 anos, qual a inflação esperada durante esse período, que se considerou ser de 3%, considerando também que a nível de combustíveis a inflação para este período seria de 5%. Pode ainda ser definida a taxa de rentabilidade de um projecto.

Esta taxa pode ser calculada da seguinte forma:

$$i = \big((1 + Rf) * (1 + taxa\ inflação) * (1 + taxa\ de\ risco)\big) - 1$$

onde Rf é a taxa de juro de remuneração de uma aplicação financeira sem risco, por exemplo certificados de aforro. No nosso caso considerou-se que uma taxa para um investimento a 25 anos sem risco deveria rondar os 5%. A taxa de risco, devido a ser dependente de tantos factores, é difícil ser estimada com pouca margem de erro, logo não é considerada no cálculo. Assim a taxa de rentabilidade dos projectos foi considerada de 8,2%, e usada no RETScreen para realizar a análise financeira.

Apesar de existir legislação que regulamente a actividade de suiniculturas, (Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas, 2003), nem sempre as leis são cumpridas, contudo será considerado que todas as suiniculturas tratam os resíduos produzidos, nas próprias instalações ou em instalações exteriores, que prestem esses serviços. Neste contexto definiu-se que ao implementar um sistema de digestão anaeróbia, não haverá necessidade de transportar os resíduos para uma estação de tratamento externa, onde os resíduos possam ser requalificados, não tendo assim esse custo acrescido.

Sabe-se que o preço estimado para o transporte de resíduos, numa distância média de 60km, é de 15€/m^3, e que o custo da digestão ou tratamento dos resíduos será de cerca de 10€/m^3. (Fonte Privada)

Admitindo que a suinicultura onde é produzido o chorume que é digerido nos casos em análise, está a uma distância de 30km da estação de tratamentos mais próxima e que o custo total por m3 de volume de resíduo é de 17€ (transporte e digestão), com a implementação de um sistema de digestão próprio, conseguem-se evitar o gasto de cerca de 3604€, no caso de o sistema ser UASB e 655€ nos casos Plug-Flow.

Definiu-se ainda se seria necessário recorrer a um banco e qual a taxa de juro em que o empréstimo seria pago. Na análise feita, não foi pedido nenhum empréstimo.

O software fornece um balanço dos custos e das poupanças, permitindo assim saber o tempo de retorno do investimento, o TIR (IRR), o VAL (NPV) e o valor monetário final que será acumulado no final do tempo de projecto.

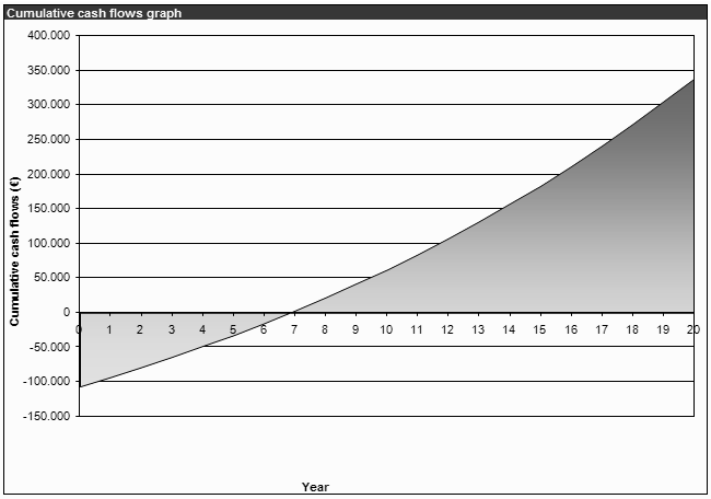


Figura 21 - Exemplo do gráfico de tempo de retorno de investimento de um projecto, em RETScreen.

Para que seja mais fácil a compreensão do que envolve uma análise financeira, é importante conhecer o que são os juros, o VAL, o TIR e os riscos associados a um investimento.

Juro é a recompensa de investir um determinado montante, sacrificando o poder de compra no presente, para ter mais poder de compra no futuro.

Por VAL entende-se valor actual líquido, em inglês NPV (*Net Present Value*) que é o valor actual de um determinado montante a obter no futuro, isto é, o valor de todos os fluxos de caixa esperados, descontados à taxa mínima de atractividade, ou custo de oportunidade do investidor, no instante presente.

Custo de oportunidade é a taxa mínima de atractividade, ou seja é o mínimo que o projecto escolhido tem de oferecer para que o investidor deixe de optar por outro projecto que lhe daria o mesmo montante.

No caso do valor do investimento ser inferior ao valor actual dos cash-flows (saldos de caixa), o VAL é positivo o que significa que o projecto apresenta uma rentabilidade positiva.

A Taxa Interna de Retorno (TIR), em inglês IRR (*Internal Rate of Return*), é a taxa necessária para igualar o valor de um investimento (valor presente) com os seus respectivos retornos futuros ou saldos de caixa, isto é, a taxa de juro para a qual o valor presente das receitas se torna igual às despesas. Sendo usada em análise de investimentos e significa a taxa de retorno de um projecto.

Na análise de riscos, tem de se ter em conta a inflação esperada e a variação que esta sofre a nível de combustíveis por exemplo. Deve ser referida a evolução esperada da taxa de juro de referência, etc.

No RETScreen é importante definir a sensibilidade da análise, que foi definida como sendo 10%, e o nível de risco que definimos igualmente como 10%. Esta análise mostrará uma tabela em que nos dará a indicação da viabilidade ou não do projecto, mostrando para que valores este deixa de ser rentável. Para esses valores em que o projecto não é viável, as células apresentam-se a cor de laranja.

Perform analysis on	Net Present Value (NPV)
Sensitivity range	10%
Threshold	6,5 €

Fuel cost - base case		Initial costs				€
€		96.036	101.371	106.707	112.042	117.377
		-10%	-5%	0%	5%	10%
62.788	-10%	20.617	15.281	9.946	4.611	-725
66.276	-5%	90.381	85.046	79.710	74.375	69.040
69.764	0%	160.145	154.810	**149.474**	144.139	138.804
73.252	5%	229.909	224.574	219.239	213.903	208.568
76.741	10%	299.673	294.338	289.003	283.667	278.332

Fuel cost - proposed case		Initial costs				€
€		96.036	101.371	106.707	112.042	117.377
		-10%	-5%	0%	5%	10%
51.058	-10%	273.607	268.272	262.937	257.601	252.266
53.895	-5%	216.876	211.541	206.206	200.870	195.535
56.731	0%	160.145	154.810	**149.474**	144.139	138.804
59.568	5%	103.414	98.079	92.743	87.408	82.073
62.404	10%	46.683	41.347	36.012	30.677	25.341

Initial costs		O&M				€
€		72	76	80	84	88
		-10%	-5%	0%	5%	10%
96.036	-10%	160.277	160.211	160.145	160.079	160.014
101.371	-5%	154.941	154.876	154.810	154.744	154.678
106.707	0%	149.606	149.540	**149.474**	149.409	149.343
112.042	5%	144.271	144.205	144.139	144.073	144.008
117.377	10%	138.935	138.870	138.804	138.738	138.672

Figura 22 - Exemplo da análise de riscos para um projecto.

Como pode ser visto na figura 21, no canto superior direito, uma célula a cor de laranja, que nos dá a indicação da não viabilidade do projecto para aqueles valores de investimento inicial e de inflação dos combustíveis.

4.6.1. Influência dos parâmetros input do sistema

Como é facilmente perceptível, os valores estimados e calculados que são introduzidos como inputs no software, para proceder à análise de viabilidade técnica e económica, são de extrema importância e influenciam totalmente os resultados que se obtêm. Alterando um valor como o número de colectores implementados, ou a localização geográfica do sistema obtêm-se resultados finais diferentes.

Como factores input que realmente influenciam directamente a viabilidade do sistema, podem ser apontados o local, o desempenho da tecnologia, os custos iniciais associados, a competitividade dos casos de referência, custos de operação e manutenção, custos energéticos evitados, existência de financiamento, impostos sobre equipamentos e lucros, características ambientais da energia substituída, subsídios e créditos ambientais (tarifas verdes, taxas de redução de emissões de gases de efeito de estufa, programas de apoio a industria), período de recuperação, TIR e VAL.

4.7.Síntese do capítulo

Neste capítulo foi referido qual o software que foi usado para efectuar o estudo de viabilidade técnica e económica dos nossos casos de estudo e foi superficialmente explicado o seu funcionamento.

Caracterizaram-se os diversos casos de estudo, expondo as variáveis principais e de maior influência, e demonstrou-se como foram feitos os cálculos para obter os valores de potências e caudais necessários para proceder ao estudo de viabilidade técnica.

Calculou-se a produção de biogás para os dois tipos de sistema com o objectivo de se poder definir qual a poupança conseguida, em termos de redução de combustível consumido por ano.

Indicaram-se os valores monetários arbitrados, e quais os valores de investimento estimados para a realização destes sistemas de forma economicamente viável. Procedeu-se à introdução de dados no RETScreen e fez-se o estudo de viabilidade técnica e económica do projecto.

No capítulo seguinte será mostrado, com base nos resultados do RETScreen, se o projecto é viável para os diferentes casos de estudo.

5. Discussão dos resultados obtidos para os diferentes casos de estudo

5.1. Sumário

Neste capítulo será demonstrado, com base nos dados que obtivemos no software RETScreen, se o projecto é viável para os diferentes casos de estudo.

5.2. Resultados obtidos

Pode-se verificar que há uma grande produção de biogás, e que os sistemas a funcionarem continuamente, são auto-suficientes, não necessitando que seja adquirido gás natural para queima na caldeira de apoio.

Verifica-se também que a produção de biogás é muito maior que as necessidade do digestor, logo poder-se-á garantir o fornecimento de biogás para a manutenção das instalações vizinhas. Admitindo que as instalações circundantes necessitam de combustíveis para operarem, e que haveria a necessidade de se adquirir gás natural para satisfazer essas necessidades, pode-se poupar uma quantia muito elevada usando este biogás produzido pelo sistema. Além disso o biogás tem obrigatoriamente de ser queimado ou usado, uma vez que a sua emissão para a atmosfera é nociva para o ambiente.

5.2.1. Caso 1

Na tabela seguinte podemos ver os dados que obtemos na análise efectuada pelo RETScreen para este caso.

Tabela 14 - Valores obtidos no RETScreen para o caso 1.

Nº colec	Fracção Solar %	Inv. Inicial €	Redução de Emissões (tCO2/ano)	veículos ligeiros	Poupança Anual (€/ano)	VAL (€)	TIR (%)	Tempo Retorno (anos)	Total (€/20 anos)	Rácio B-C	
110	15	76150	58,2	11,8	71944	2542791	251,7	0,4	6938691	34,39	
125	16	85997	65,2	13,3	71944	2554255	224,8	0,5	6990176	30,7	
145	19	99127	74,2	15,1	71944	2568546	197,1	0,5	7055960	26,91	PROPOSTO/ESCOLHIDO
160	20	108975	80,8	16,4	71944	2578540	180,7	0,6	7103215	24,66	

Escolheu-se instalar 145 colectores, que era o número proposto pelo software. Menos colectores podiam ser implementados, mas iriam produzir uma fracção solar demasiado baixa.

Este projecto teria o retorno total do investimento em 0,5 anos, e traria uma redução de emissões de 74,2tCO_2/ano.

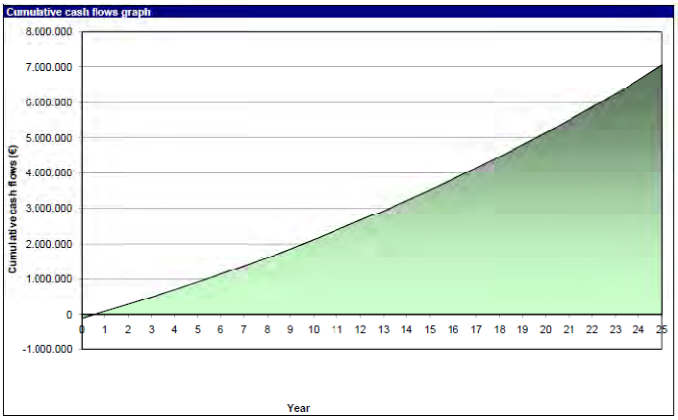


Gráfico 1 - Retorno do Investimento no caso 1.

5.2.2.Caso 2

Na tabela seguinte podemos ver os dados que obtivemos na análise efectuada pelo RETScreen para o caso 2.

Tabela 15 - Valores obtidos no RETScreen para o caso 2.

Nº colec	Fracção Solar %	Inv. Inicial €	Redução de Emissões (tCO2/ano)	veículos ligeiros	Poupança Anual (€/ano)	VAL (€)	TIR (%)	Tempo Retorno (anos)	Total (€/20 anos)	Rácio B-C	
200	10	135235	83,6	17	143903	3173134	179,6	0,6	8733070	24,46	
250	13	168060	102	20,7	143903	3195713	147,2	0,7	8859694	20,02	
300	15	200885	119	24,2	143903	3215369	125,2	0,8	8977904	17,01	ESCOLHIDO
307	15	205480	121	24,6	143903	3217899	122,7	0,8	8993814	16,66	PROPOSTO

Apesar de o número de colectores solares proposto pelo software, para este caso, ser de 307, escolheu-se instalar 300 colectores, pois o investimento inicial será retornado em 0,8 anos, e obtêm-se um rácio Benefício/Custo maior, obtendo a mesma fracção solar. Além disso a TIR é mais elevada.

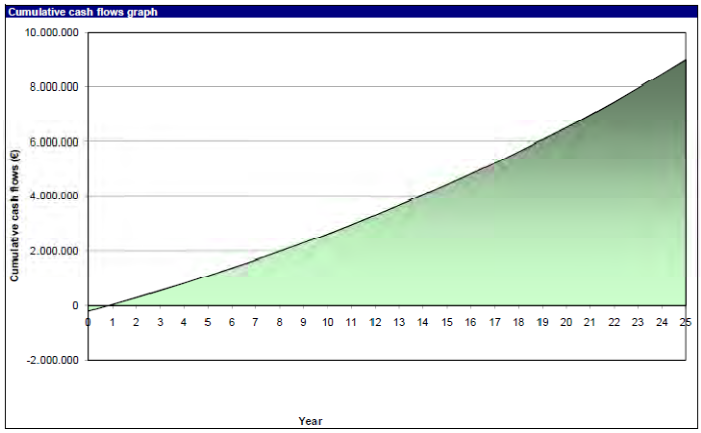


Gráfico 2 - Retorno do Investimento no caso 2.

5.2.3.Caso 3

Os dados que se obtiveram na análise efectuada pelo RETScreen para o caso 3, estão na tabela seguinte.

Tabela 16 - Valores obtidos no RETScreen para o caso 3.

Nº colec	Fracção Solar %	Inv. Inicial €	Redução de Emissões (tCO2/ano)	veículos ligeiros	Poupança Anual (€/ano)	VAL (€)	TIR (%)	Tempo Retorno (anos)	Total (€/20 anos)	Rácio B-C	
130	15	89280	60,7	12,3	72330	2536916	215,6	0,5	6946439	29,42	
145	17	99127	66,7	13,6	72330	2545471	195,7	0,5	6989552	26,66	ESCOLHIDO
153	17	104379	69,9	14,2	72330	2549808	186,5	0,5	7011896	25,43	PROPOSTO
160	18	108975	72,6	14,8	72330	2553476	179,3	0,6	7031083	24,43	

O número de colectores solares proposto pelo software, para o caso 3, era de 153, contudo escolheu-se instalar 145 colectores, pois consegue-se obter a mesma fracção solar por menos dinheiro investido, o que se vai traduzir em maior rácio Benefício/Custo, para o mesmo tempo de retorno. Além disto a taxa de retorno de investimento é maior.

Este projecto teria o retorno total do investimento em 0,5 anos, e traria uma redução de emissões de 66,7tCO_2/ano.

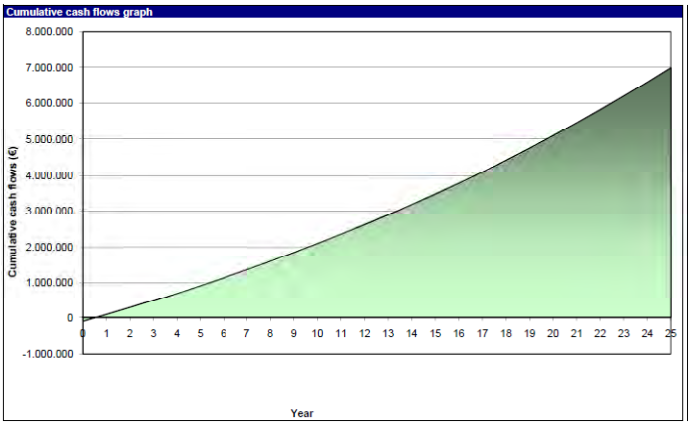


Gráfico 3 - Retorno do Investimento no caso 3.

5.2.4.Caso 4

No caso 4, obteve-se da análise efectuada pelo RETScreen, os seguintes dados.

Tabela 17 - Valores obtidos no RETScreen para o caso 4.

Nº colec	Fracção Solar %	Inv. Inicial €	Redução de Emissões (tCO2/ano)	veículos ligeiros	Poupança Anual (€/ano)	VAL (€)	TIR (%)	Tempo Retorno (anos)	Total (€/20 anos)	Rácio B-C	
260	11	174625	91,7	18,6	144352	3158356	140,7	0,7	8764510	19,09	
300	13	200885	104	21,1	144352	3168506	123,8	0,8	8843037	16,77	
325	14	217297	111	22,6	144352	3174084	115,3	0,9	8889910	15,61	PROPOSTO
350	15	233710	118	24	144352	3179098	108	1	8935162	14,6	ESCOLHIDO

O número de colectores solares proposto pelo software, para o caso 4, era de 325, contudo optou-se por instalar 350 colectores, pois consegue-se obter quase maior fracção solar e maior redução de emissões, obtendo o retorno do investimento em apenas 1 ano.

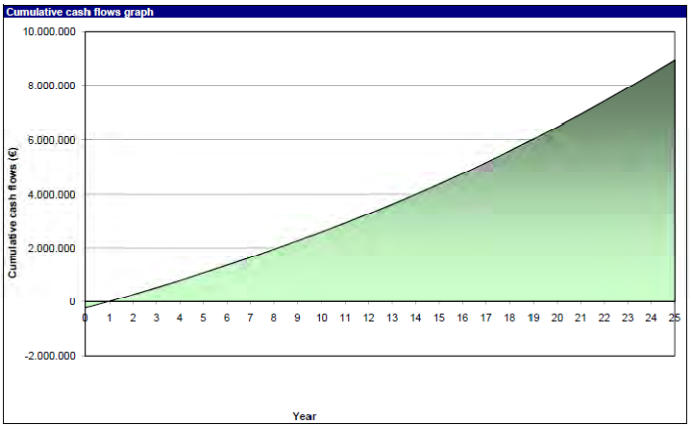


Gráfico 4 - Retorno do Investimento no caso 4.

5.2.5. Caso 5

A análise efectuada pelo RETScreen, no caso 5, deu os seguintes dados.

Tabela 18 - Valores obtidos no RETScreen para o caso 5.

Nº colec	Fracção Solar %	Inv. Inicial €	Redução de Emissões (tCO2/ano)	veículos ligeiros	Poupança Anual (€/ano)	VAL (€)	TIR (%)	Tempo Retorno (anos)	Total (€/20 anos)	Rácio B-C	
25	15	23326	13,2	2,7	15718	286647	98,8	1	810001	13,29	
32	19	27922	16,4	3,3	15718	291739	85,2	1,2	833286	11,45	PROPOSTO
34	20	29235	17,2	3,5	15718	293080	82	1,3	839609	11,02	ESCOLHIDO
50	27	39739	23,6	4,8	15718	302098	64,2	1,6	168363	8,6	

Como é apresentado na tabela 17, o número de colectores solares proposto pelo RETScreen era de 32, contudo se forem instalados 34 colectores, apesar do aumento de investimento inicial necessário, será conseguido que em pouco mais de tempo de retorno, se obtenha mais fracção solar será aproveitada e maiores reduções nas emissões de CO_2.

Este projecto teria o retorno total do investimento em 1,3 anos, e traria uma redução de emissões de 17,2tCO_2/ano.

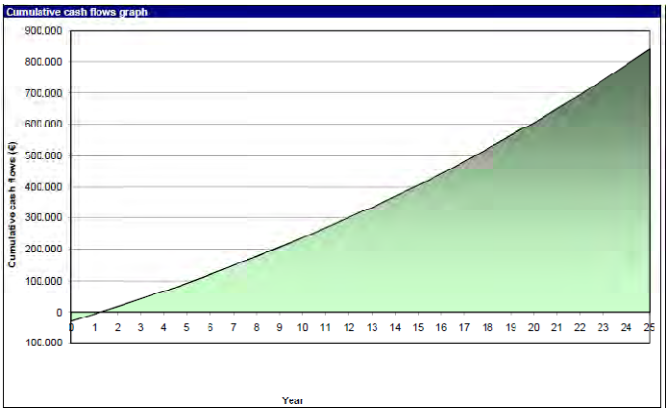


Gráfico 5 - Retorno do Investimento no caso 5.

5.2.6.Caso 6

No caso 6, teremos como resultado da análise efectuada pelo RETScreen, os seguintes dados.

Tabela 19 - Valores obtidos no RETScreen para o caso 6.

Nº colec	Fracção Solar %	Inv. Inicial €	Redução de Emissões (tCO2/ano)	veículos ligeiros	Poupança Anual (€/ano)	VAL (€)	TIR (%)	Tempo Retorno (anos)	Total (€/20 anos)	Rácio B-C	
60	14	46304	24,1	4,9	31199	366132	66,6	1,6	1067130	8,91	
65	15	49586	25,8	5,2	31199	368023	63,1	1,6	1078735	8,42	ESCOLHIDO
67	15	50899	26,5	5,4	31199	368744	61,8	1,7	1083275	8,24	PROPOSTO
75	17	56151	29,1	5,9	31199	371431	57,2	1,8	1100872	7,61	

Perante estes resultados, pode-se dizer que o número de colectores solares proposto pelo RETScreen era 67. Contudo decidiu-se que deveriam ser instalados 65 colectores, conseguindo assim com a mesma fracção solar reduzir o investimento inicial e o tempo de retorno do investimento.

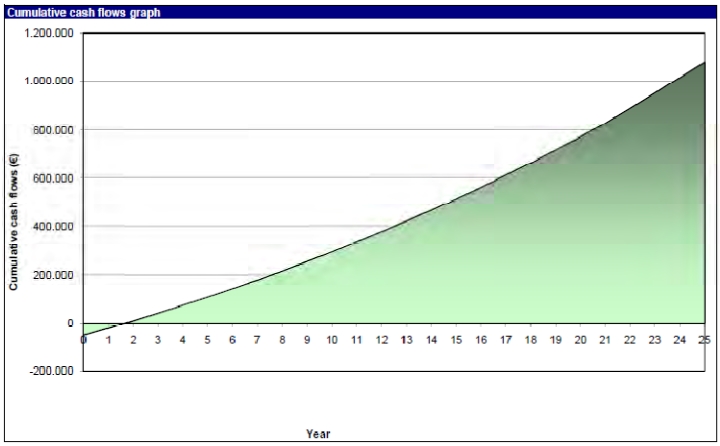


Gráfico 6 - Retorno do Investimento no caso 6.

5.2.7.Caso 7

No caso 7, obtiveram-se os dados constantes na tabela seguinte.

Tabela 20 - Valores obtidos no RETScreen para o caso 7.

Nº colec	Fracção Solar %	Inv. Inicial €	Redução de Emissões (tCO2/ano)	veículos ligeiros	Poupança Anual (€/ano)	VAL (€)	TIR (%)	Tempo Retorno (anos)	Total (€/20 anos)	Rácio B-C	
30	16	26609	13,9	2,8	16014	285609	87,5	1,2	813178	11,73	
34	17	29235	15,5	3,2	16014	287821	80,9	1,3	824475	10,85	PROPOSTO
45	22	36456	19,6	4	16014	293026	67,6	1,5	853017	9,04	ESCOLHIDO
55	26	43021	23	4,7	16014	296721	59,3	1,8	875978	7,9	

Perante estes resultados, podemos dizer que o número de colectores solares proposto pelo RETScreen, 34, era baixo. Decidiu-se então que deveriam ser instalados 45 colectores, conseguindo assim aumentar a fracção solar e aumentar a redução de emissões, praticamente no mesmo tempo de retorno.

Este projecto teria o retorno total do investimento em 1,5 anos, e traria uma redução de emissões de 19,6tCO_2/ano.

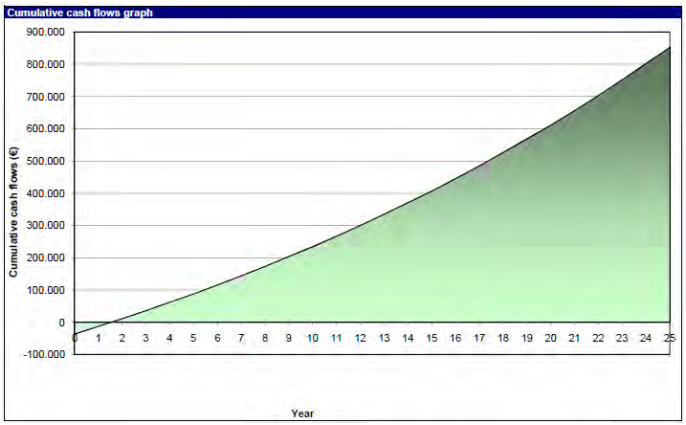


Gráfico 7 - Retorno do Investimento no caso 7.

5.2.8.Caso 8

Por último, no caso 8, obtiveram-se os seguintes dados.

Tabela 21 - Valores obtidos no RETScreen para o caso 8.

Nº colec	Fracção Solar %	Inv. Inicial €	Redução de Emissões (tCO2/ano)	veículos ligeiros	Poupança Anual (€/ano)	VAL (€)	TIR (%)	Tempo Retorno (anos)	Total (€/20 anos)	Rácio B-C	
65	13	49586	22,5	4,6	31544	357951	61,8	1,7	1049748	8,22	ESCOLHIDO
71	14	53525	24,2	4,9	31544	359297	58,1	1,8	1061019	7,71	PROPOSTO
80	15	59434	26,7	5,4	31544	361039	53,5	2	1077129	7,07	
85	16	62716	28,1	5,7	31544	361871	51,2	2	1085686	6,77	

Perante estes valores, pode-se dizer que o número de colectores solares proposto pelo RETScreen era 71. Contudo instalando 65 colectores, conseguia-se diminuir o investimento inicial, obtendo praticamente a mesma fracção solar.

Este projecto teria o retorno total do investimento em 1,7 anos, e traria uma redução de emissões de 22,5tCO_2/ano.

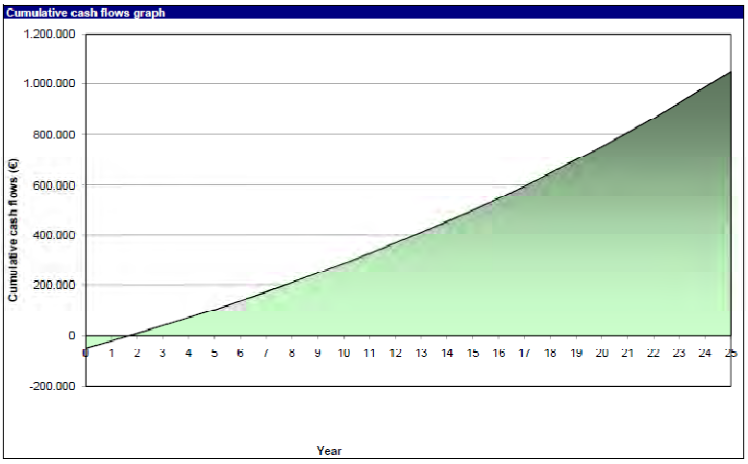


Gráfico 8 - Retorno do Investimento no caso 8.

5.3.Discussão dos resultados

Tendo concluído a análise no RETScreen, e tendo escolhido para cada caso o número de colectores solares, que maximizavam o rácio Benefício/Custo, chegamos aos valores da tabela seguinte.

Tabela 22 - Resultados obtidos para cado caso.

Caso	Nº colec	Fracção Solar %	Inv. Inicial €	Redução de Emissões (tCO2/ano)	veículos ligeiros	Poupança Anual (€/ano)	VAL (€)	TIR (%)	Tempo Retorno (anos)	Total (€/20 anos)	Rácio B-C
1	145	19	99127	74,2	15,1	71944	2568546	197,1	0,5	7055960	26,91
2	300	15	200885	119	24,2	143903	3215369	125,2	0,8	8977904	17,01
3	145	17	99127	66,7	13,6	72330	2545471	195,7	0,5	6989552	26,66
4	350	15	233710	118	24	144352	3179098	108	1	8935162	14,6
5	34	20	29235	17,2	3,5	15718	293080	82	1,3	839609	11,02
6	65	15	49586	25,8	5,2	31199	368023	63,1	1,6	1078735	8,42
7	45	22	36456	19,6	4	16014	293026	67,6	1,5	853017	9,04
8	65	13	49586	22,5	4,6	31544	357951	61,8	1,7	1049748	8,22

Perante estes valores podemos dizer que para diferentes parâmetros existem diferentes casos a apresentarem-se como os mais vantajosos.

Ao concentrar-se a análise no valor do investimento inicial, pode-se dizer que o caso em que se teria um menor investimento inicial é o caso 5 em que é usado um digestor Plug-Flow, para funcionar em regime Mesofílico e em Beja, sendo os restantes sistemas de Plug-Flow os casos com menor investimento.

No caso 4, que apresenta o maior investimento inicial, ter-se-á um sistema UASB, a operar em regime Termofílico na cidade da Guarda.

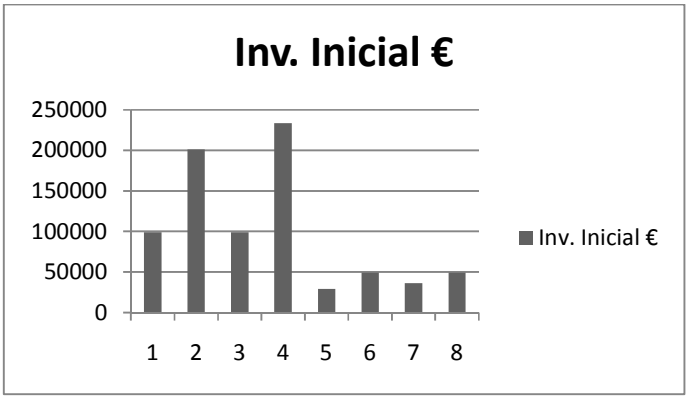


Gráfico 9 - Investimento Inicial para cada caso.

Olhando para a poupança anual de cada sistema, ver-se-á que o sistema do caso 2 e o sistema do caso 4 são os que apresentam uma maior poupança, sendo os sistemas correspondentes ao Plug-Flow os que atingem valores mais baixos.

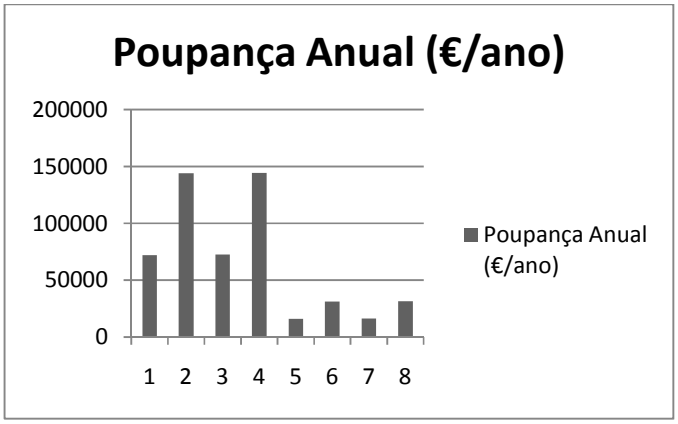


Gráfico 10 - Poupança anual de cada caso.

No que concerne a redução de emissão de CO_2 para a atmosfera, pode-se concluir que as maiores reduções serão ao nível dos digestores UASB, sendo o sistema 2 o campeão de redução dos nossos casos, logo seguido do sistema 4.

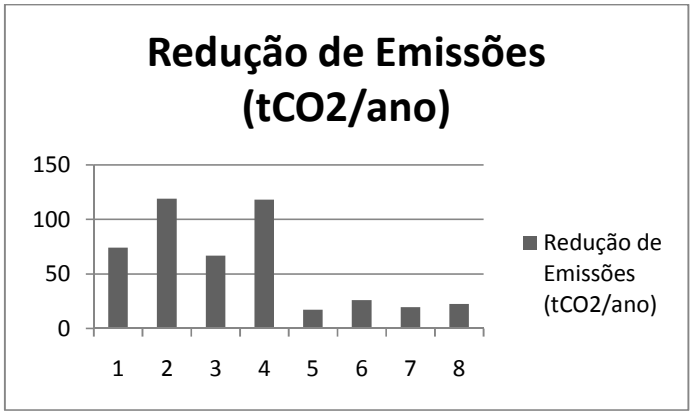


Gráfico 11 - Redução de emissões de CO_2 por ano, para a atmosfera.

Os sistemas com maior tempo de retorno são os sistemas de Plug-Flow, com períodos de retorno sempre superiores a 1 ano. Os sistemas com melhores tempos de retorno de investimento são os sistemas do caso 1 e 3.

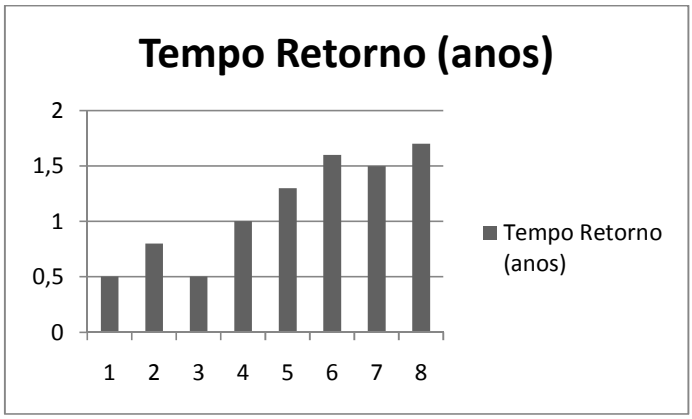


Gráfico 12 - Tempo de Retorno de Investimento Inicial.

Quanto ao montante atingido no final do tempo de vida útil do projecto (25 anos), pode-se ver com clareza que o caso do sistema 2 é o que consegue render maior quantia. Conclui-se também que os sistemas de Plug-Flow não acumularam um montante tão generoso como os sistemas de UASB.

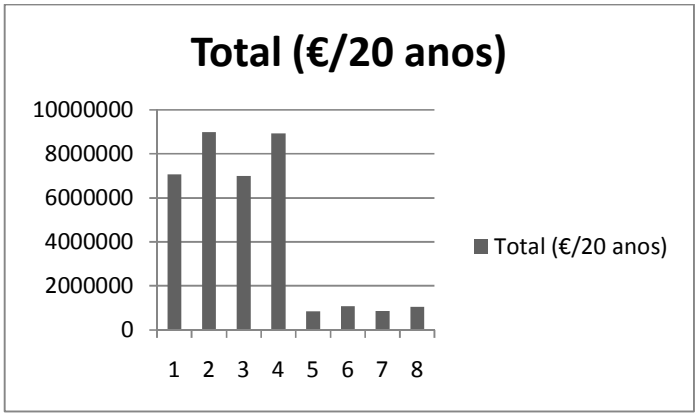


Gráfico 13 - Quantia acumulada no final dos 20 anos de vida do projecto.

A taxa interna de retorno, mostra a taxa a que o investimento inicial será pago, logo quanto maior a taxa mais rápida será a remuneração dos investidores nos projectos. Pode-se ver que as taxas de retorno maiores são precisamente nos casos 1 e 3, os projectos que têm menor tempo de retorno.

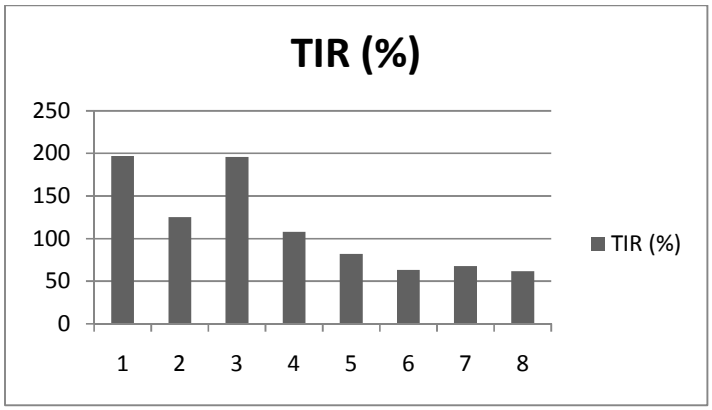


Gráfico 14 - Taxa interna de retorno dos projectos.

Para se verificar a viabilidade monetária dos projectos tem de se garantir que o VAL será positivo. Pode-se garantir, olhando para os dados tirados da análise pelo RETScreen, que os casos mais viáveis nesta análise são os que usam o sistema UASB. Contudo todos os sistemas são exequíveis e viáveis tecnicamente e economicamente.

Há que ter em conta, que usando um digestor, não há a necessidade de transportar os resíduos para outras instalações, para que possam ser requalificados e digeridos.

Esse transporte de resíduos tem um custo, bem como a digestão de m^3 numa estação de tratamento, e existe ainda a necessidade de armazenar o resíduo que aguarda o transporte para o digestor. Será portanto, nesse caso, necessário investir na construção de uma fossa ou tanque de recolha e armazenamento de resíduos. Essa construção tem igualmente custos, que associados aos custos referidos anteriormente, tornam ainda mais atractiva a ideia de investir num sistema de digestão próprio, adequado às necessidades sentidas.

5.4.Problemas possíveis

A questão da manutenção da temperatura constante no interior dos digestores, é talvez a maior preocupação em termos de viabilidade destes sistemas. Se os sistemas de alimentação térmica dos digestores funcionarem sem qualquer falha, os processos de digestão ocorrem sem percalços. Contudo se houver uma falha, vamos ter quedas de temperatura muito rápidas, comprometendo os processos de digestão e as populações de bactérias existentes nos digestores. Essa queda de temperatura pode ser calculada pela expressão seguinte.

$$\Delta T = \frac{Potência\ do\ Sistema\ (kWh/Dia)}{Volume_{Digestor}(m^3) \times C_{p_{afluente}}(kWh/m^3{}^\circ C)}$$

Como já foi referido anteriormente, o afluente tem um C_p idêntico ao da água.

Tabela 23 - Queda de Temperatura por falha do sistema.

Caso	Volume (m^3)	Potência (kWh/Dia)	Queda de Temperatura (ºC/Dia)
1	1060	6570,66	5,34
2	1060	11268,3	9,16
3	1060	6605,87	5,37
4	1060	11303,5	9,18
5	962	1435,53	1,29
6	962	2443,05	2,19
7	962	1462,53	1,31
8	962	2470,05	2,21

Como se pode ver na tabela para os sistemas de Plug-Flow, a queda não será tão drástica contudo para os sistemas que operam em UASB a queda de temperatura por falha do sistema de alimentação térmica será fatalmente prejudicial para a população bacteriana, comprometendo assim todo o processo de digestão.

Devem ser tidos em conta os materiais usados, para evitar a corrosão e consequentemente despesas de manutenção. As tubagens, existentes no interior dos digestores, para permuta de calor, pela passagem de água quente, poderão ter um desgaste muito rápido, devido ao ambiente hostil provocado por etapas do processo de digestão, por exemplo pela acidogénese. Ainda que o cobre tenha um preço atractivo e características de montagem e de condução térmica muito interessantes, é importante verificar se não irá reagir com os sulfuretos, produzidos no processo de digestão.

A hipótese de se usar aço inox para as tubagens, não é muito viável quer pelo preço mais elevado, quer pela baixa condutividade térmica, comparando com o cobre. Para permutar a mesma quantidade de calor, teríamos de usar muitos mais tubos no interior do digestor, o que também acaba por se traduzir em maior manutenção.

Deve ser garantida uma agitação eficiente da massa afluente, para que o processo de digestão seja o mais eficaz possível, evitando a segmentação do material a digerir. Os sistemas devem ser simples e fáceis de operar, tendo facilitados os acessos a todos os componentes para que se possa proceder a manutenção quando necessário.

5.5.Síntese do capítulo

Neste capítulo falou-se dos resultados que foram obtidos na análise feita, usando o software RETScreen, para os oito casos de estudo.

Fez-se a apresentação e discussão desses resultados e concluímos quais os casos de estudo que reúnem as características que os tornam viáveis para serem implementados.

Falou-se ainda dos possíveis problemas que poderão surgir e inviabilizar os projectos.

No próximo capítulo, serão feitas e apresentadas as conclusões que se retiraram do desenvolvimento deste trabalho. Serão ainda sugeridas possíveis soluções para os problemas que expusemos neste capítulo e também serão sugeridos trabalhos futuros que poderão ser desenvolvidos a partir destes resultados.

6. Conclusões

6.1. Sumário

Neste capítulo serão escritas as principais conclusões que foram retiradas da execução deste trabalho. Serão enunciadas possíveis soluções para os problemas que foram referidos e sugeridos trabalhos futuros que poderão ser desenvolvidos partindo deste trabalho.

6.2. Conclusões gerais

Este trabalho tinha como objectivo principal o estudo da viabilidade técnica e económica do acoplamento de colectores solares a um digestor anaeróbio. O acoplamento do colector solar deveria fornecer energia, de forma a haver estabilidade térmica para que o processo de digestão decorresse sem percalços. Para atingir o objectivo, e conseguir realizar esse estudo, consideraram-se duas localizações geográficas distintas, Beja e Guarda. Escolheu-se também dois sistemas de digestor distintos, com características diferentes, sendo um sistema de UASB e outro de Plug-Flow.

Para desenvolver a análise, focou-se os cálculos em dois regimes de funcionamento, Mesofílico (37±2℃) e Termofílico (5 5±2℃). O resíduo afluente escolhido para ser digerido nos sistemas foi chorume de animais, por exemplo suínos.

Para a realização da análise e do estudo de viabilidade técnica e económica deste projecto utilizou-se o software RETScreen, e com os dados fornecidos pelo programa foi possível concluir que todos os casos em estudo apresentavam viabilidade económica. Os casos que apresentam maior viabilidade económica e técnica são os casos de em que é utilizado um digestor UASB.

Conclui-se que existe uma grande viabilidade dos projectos, que não só tratam e requalificam resíduos, como são auto-suficientes, fornecendo ainda energia para instalações vizinhas.

Devido à sua capacidade para tratar um elevado caudal de afluente diariamente, este tipo de sistemas poderá ser indicado para funcionar, servindo várias suiniculturas duma determinada região.

Um factor que está relacionado com viabilidade dos projectos é o nível de necessidades energéticas. Devido aos elevados caudais de afluente a necessitar de aquecimento, e às perdas pela envolvente, os sistemas necessitavam de fornecimento constante de energia, para manter a temperatura desejada. Pode-se dizer que se as perdas pela envolvente fossem reduzidas, ou se o volume dos digestores fosse menor, reduzindo assim os caudais, não seriam necessários tantos colectores solares, o que reduziria o investimento inicial.

6.3.Trabalhos Futuros

Tendo este trabalho um tema tão actual, deveria ser continuado na tentativa de melhorar e aprofundar esta análise e estudo, que já de si complexa, pode ir muito mais além.

A temática dos isolamentos térmicos deveria ser incluída em trabalhos futuros. Os sistemas estudados neste trabalho, com um isolamento térmico adequado não iriam necessitar de tanta energia, logo iriam ser menos dispendiosos e mais eficientes. Podem ser tentadas soluções inovadoras, como a construção de estufas que isolam termicamente a área onde os digestores se encontram, diminuindo assim os valores de perdas pela envolvente. Também neste tema, os PCM's[11] podem ser um caminho a explorar. Estes materiais começam a ser vistos como materiais isolantes térmicos com grande potencial, pois fundem e solidificam, armazenando e libertando grandes quantidades de energia. Devido ao baixo custo de alguns destes materiais poderemos ter neles o futuro do isolamento térmico. Como exemplo de um destes materiais temos a parafina.

Inicialmente, pensou-se em realizar a análise de viabilidade, também ao regime de funcionamento Hipertermofílico, contudo rapidamente foi perceptível que a viabilidade de acoplamento de colectores solares a um digestor a operar nesta gama de temperaturas, era muito reduzida. Este tipo de operação necessita

[11] PCM's (Phase Change Materials)

de muita energia térmica a ser fornecida constantemente, e para volumes e caudais tão elevados, torna-se muito dispendioso.

Este regime de digestão de resíduos, poderá ser viável no futuro, para produção de Hidrogénio (resultante de uma das fases do processo de digestão anaeróbia), considerado por muitos o futuro do sector dos transportes.

É ainda de referir que um possível trabalho, partindo deste, é o estudo da comercialização ou da rentabilização do biogás produzido.

6.4. Síntese do capítulo

Neste capítulo terminou-se o trabalho, referindo as principais conclusões tiradas na análise feita e dizendo qual o rumo que este tema poderá ter no futuro. Sugeriu-se ainda possíveis soluções para os obstáculos que foram encontrados, e que poderiam inviabilizar os projectos.

Bibliografia

Costa, Jorge Cruz e Lebeña, Eduardo Perez. 2006. SPES/INETI. *Conversão Térmica de Energia Solar.* Lisboa : Sociedade Portuguesa de Energia Solar (SPES), 2006.

Dep. de Estratégia e Gestão Ambiental Sustentável. 2005. Estratégia Local para as Alterações Climáticas. *ELAC - Energias Renováveis: Aproveitamento de recursos endógenos, co-geração a biogás em ETARs municipais.* Almada : Câmara Municipal de Almada, 2005. Vol. Medida ME8, Sector de Resíduos.

DGEG. Direcção Geral de Energia e Geologia. *Direcção Geral de Energia e Geologia.* [Online] http://www.dgge.pt.

Duarte, Elizabeth e Ferreira, Luís. 2007. *Optimização da produção de biogás em explorações pecuárias/agrícolas.* Évora : Institutro Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa, 2007.

EDS.Norte - Energia e Desenvolvimento Sustentável na região Norte. Digestão Anaeróbia: Metodologia de Desenvolvimento. Gaia : Energaia.

EDS.Norte - Valorização de Resíduos Orgânicos. Gaia : Energaia.

ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. 2009. *Tarifas e preços de Gás Natural para o ano Gás 2009-2010.* Lisboa : ERSE, 2009.

Falcão, António F.O. 2008. *Energia Solar, Movimento e Posicionamento relativos Terra-Sol.* Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2008.

Governo Federal - Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. 2008. *Plano NAcional sobre Mudança do Clima - PNMC- Brasil.* Brasília : Governo Federal - Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, 2008.

Incropera, Frank P. e Dewitt, David P. 2007. *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa.* s.l. : LTC Editora, 2007.

INETI. 2006. Intalações Solares Térmicas. *Intalações Solares Térmicas.* Lisboa : Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia e Inovação, IP, 2006.

Martins, Nelson. 2008. Apontamentos da disciplina de Gestão de Energia. Aveiro : Universidade de Aveiro, 2008. Gestão de Energia.

Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas. 2003. Decreto-Lei nº135/2003. Lisboa : Diário da República, 2003. Vol. I Série A.

Neto, Fernando. 2008. Apontamentos da disciplina Projecto de Sistemas Térmicos. Aveiro : Universidade de Aveiro, 2008. Projecto de Sistemas Térmicos.

2009. REAP- Portaria Nº631/2009, 9 Junho, Regime do exercício da actividade pecuária. *Suinicultura.* [Online] 2009. www.suinicultura.com.

RETScreen International. 1997-2008. Software de Análise de Projectos de Energia Limpa. Canada : Minister of Natural Resources Canada, 1997-2008.

RETScreen. 2005. RETScreen Software Online User Manual - SolarHeating Project Model. *RETScreen International.* [Online] 2005. http://www.retscreen.net/. ISBN-0-662-41076-9.

Santos, Paulo. 2000. *"Guia Técnico de Biogás", ISBN 972 852 12 19.* Amadora : CCE-Centro para a Conservação de Energia, 2000.

Santos, Paulo. 2003. Estudo de viabilidade de tratamentos centralizados de resíduos agro-pecuários no concelho de Montemor-o-Novo. Amadora : ADENE- Agência para a Energia, 2003.

Wilkie, Ann C. 2005. *Anaerobic Digestion: Biology and Benefits.* Gainesville, Florida : s.n., 2005.

ANEXOS

Caso 1

Natural Resources Canada / Ressources naturelles Canada — Canada

RETScreen® International
www.retscreen.net

Clean Energy Project Analysis Software

Project information — *See project database*

Project name	Caso 1
Project location	Beja Portugal
Prepared for	MIEM
Prepared by	Patrícia Martins
Project type	Heating
Technology	Solar water heater
Analysis type	Method 2
Heating value reference	Lower heating value (LHV)
Show settings	☑
Language - Langue	English - Anglais
User manual	English - Anglais
Currency	Euro
Units	Metric units

Site reference conditions — *Select climate data location*

Climate data location	Beja (Por/Ger-AFB)
Show data	☑

	Unit	Climate data location	Project location
Latitude	°N	38,0	38,0
Longitude	°E	-7,9	-7,9
Elevation	m	247	247
Heating design temperature	°C	3,4	
Cooling design temperature	°C	35,1	
Earth temperature amplitude	°C	22,8	

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	9,1	82,0%	2,37	99,3	3,3	8,5	276	0
February	10,3	79,7%	3,20	99,2	3,4	10,2	216	8
March	12,6	72,5%	4,46	99,0	3,3	14,3	167	81
April	13,5	73,4%	5,43	98,7	3,8	17,8	135	105
May	16,7	69,6%	6,23	98,7	3,5	23,7	40	208
June	20,9	61,0%	7,36	98,8	3,4	30,2	0	327
July	23,8	55,8%	7,51	98,7	3,7	33,2	0	428
August	23,7	57,2%	6,73	98,7	3,5	31,6	0	425
September	21,6	62,2%	5,13	98,8	3,4	26,5	0	348
October	17,2	72,1%	3,41	98,9	3,3	19,6	25	223
November	13,1	81,3%	2,43	99,0	3,3	13,6	147	93
December	10,5	84,2%	1,97	99,2	3,3	10,2	233	16
Annual	16,1	70,9%	4,69	98,9	3,4	20,0	1.239	2.261
Measured at	m				10,0	0,0		

Complete Energy Model sheet

RETScreen4 2009-05-25 — © Minister of Natural Resources Canada 1997-2009. — NRCan/CanmetENERGY

RETScreen Energy Model - Heating project

Heating project

Technology		Solar water heater			
Load characteristics					
Application		☐ Swimming pool ☒ Hot water			
	Unit	Base case	Proposed case		
Load type		Industrial			
Daily hot water use	l/d	1 131 900	1 131 900		
Temperature	°C	40	40		
Operating days per week	d	7	7		
☐ Percent of month used					
Supply temperature method		User-defined			
Water temperature - minimum	°C	35			
Water temperature - maximum	°C	39			
	Unit	Base case	Proposed case	Energy saved	Incremental initial costs
Heating	MWh	1 440,4	1 440,4	0%	
Resource assessment					
Solar tracking mode		Fixed			
Slope	°	36,0			
Azimuth	°	0,0			
☐ **Show data**					
Solar water heater					
Type		Glazed			See technical note
Manufacturer		Sonnenkraft			See product database
Model		SK500L			
Gross area per solar collector	m²	2,57			
Aperture area per solar collector	m²	2,34			
Fr (tau alpha) coefficient		0,69			
Fr UL coefficient	(W/m²)/°C	3,59			
Temperature coefficient for Fr UL	(W/m²)/°C²	0,000			
Number of collectors		145	145		
Solar collector area	m²	372,00			
Capacity	kW	237,10			
Miscellaneous losses	%	5,0%			
Balance of system & miscellaneous					
Storage		Yes			
Storage capacity / solar collector area	L/m²	75			
Storage capacity	l	25 404,0			
Heat exchanger	yes/no	No			
Miscellaneous losses	%	5,0%			
Pump power / solar collector area	W/m²	5,00			
Electricity rate	€/kWh	0,100			
Summary					
Electricity - pump	MWh	3,9			
Heating delivered	MWh	268,0			
Solar fraction	%	19%			
Heating system					
☐ Project verification		Base case	Proposed case		
Fuel type		Natural gas - m³	Natural gas - m³		
Seasonal efficiency		70%	70%		
Fuel consumption - annual	m³	218 013,1	177 446,2	m³	
Fuel rate	€/m³	0,330	0,330	€/m³	
Fuel cost	€	71 944	58 557		

RETScreen Cost Analysis - Heating project

Settings

- (•) Method 1
- ( ) Method 2

- [•] Notes/Range
- [ ] Second currency
- [ ] Cost allocation

Notes/Range: None

Initial costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount	Relative costs
Feasibility study					
Feasibility study	cost	1	€ 7.500	€ 7.500	
Sub-total:				€ 7.500	7,6%
Development					
Development	cost		€ -	€ -	
Sub-total:				€ -	0,0%
Engineering					
Engineering	cost		€ -	€ -	
Sub-total:				€ -	0,0%
Heating system					
Solar water heater				€ -	
User-defined	cost	145	€ 650	€ 94.250	
				€ -	
Sub-total:				€ 94.250	95,1%
Balance of system & miscellaneous					
Spare parts	%			€ -	
Transportation	project			€ -	
Training & commissioning	p-d			€ -	
User-defined	credit	212	€ 17	€ (3.604)	
Contingencies	%	1,0%	€ 98.146	€ 981	
Interest during construction		12 month(s)	€ 99.127	€ -	
Sub-total:				€ (2.623)	-2,6%
Total initial costs				€ 99.127	100,0%

Annual costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
O&M				
Parts & labour	project			€ -
User-defined	cost	32	€ 10	€ 320
Contingencies	%		€ 320	€ -
Sub-total:				€ 320
Fuel cost - proposed case				
Natural gas	m³	177.446	€ 0,330	€ 58.557
Electricity	MWh	4	€ 100,000	€ 394
Sub-total:				€ 58.951

Annual savings	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
Fuel cost - base case				
Natural gas	m³	218.013	€ 0,330	€ 71.944
Sub-total:				€ 71.944

Periodic costs (credits)	Unit	Year	Unit cost	Amount
User-defined	cost	5	€ 1.000	€ 1.000
Poupança de consumo de Gás Natural	credit	1	€ 173.726	€ (173.726)
End of project life	cost			€

RETScreen Emission Reduction Analysis - Heating project

Emission Analysis

- (•) Method 1
- ( ) Method 2
- ( ) Method 3

Base case electricity system (Baseline)

Country - region	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
Portugal	Natural gas	0,347		0,347

[ ] Baseline changes during project life

Base case system GHG summary (Baseline)

Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO2/MWh	GHG emission tCO2
Natural gas	100,0%	2.058	0,197	406,3
Total	100,0%	2.058	0,197	406,3

Proposed case system GHG summary (Heating project)

Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO2/MWh	GHG emission tCO2
Natural gas	89,2%	1.757	0,197	347,0
Solar	10,7%	210	0,000	0,0
Electricity	0,2%	3	0,347	1,1
Total	100,0%	1.971	0,177	348,1

GHG emission reduction summary

	Base case GHG emission tCO2	Proposed case GHG emission tCO2	Gross annual GHG emission reduction tCO2	GHG credits transaction fee %	Net annual GHG emission reduction tCO2
Heating project	406,3	348,1	58,2		58,2

Net annual GHG emission reduction	58,2	tCO2	is equivalent to	11,8	Cars & light trucks not used

RETScreen Financial Analysis - Heating project

Financial parameters

General		
Fuel cost escalation rate	%	5,0%
Inflation rate	%	3,0%
Discount rate	%	8,2%
Project life	yr	25
Finance		
Incentives and grants	€	0
Debt ratio	%	0,0%

Income tax analysis

Annual income

Electricity export income

GHG reduction income

Net GHG reduction	tCO2/yr	74
Net GHG reduction - 25 yrs	tCO2	1.856

Customer premium income (rebate)

Other income (cost)

Clean Energy (CE) production income

Project costs and savings/income summary

Initial costs			
Feasibility study	7,6%	€	7.500
Heating system	95,1%	€	94.250
Balance of system & misc.	-2,6%	€	-2.623
Total initial costs	100,0%	€	99.127
Annual costs and debt payments			
O&M		€	320
Fuel cost - proposed case		€	58.951
Total annual costs		€	59.271
Periodic costs (credits)			
User-defined - 5 yrs		€	1.000
Poupança de consumo de Gás Natural - 1 yr		€	-173.726
Annual savings and income			
Fuel cost - base case		€	71.944
Total annual savings and income		€	71.944

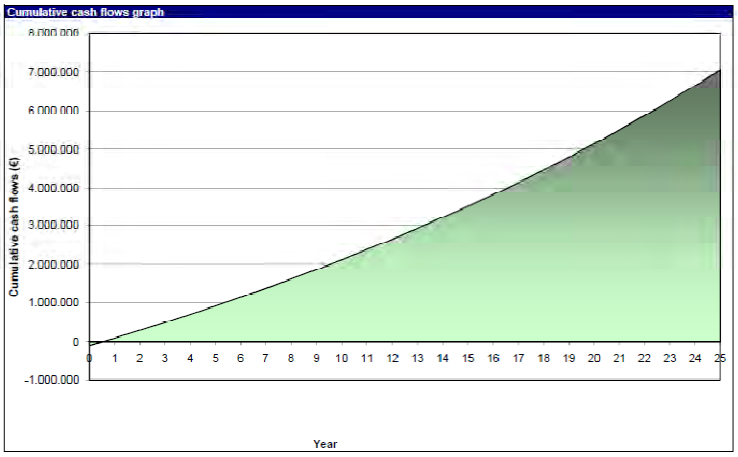
Financial viability

Pre-tax IRR - equity	%	197,1%
Pre-tax IRR - assets	%	197,1%
After-tax IRR - equity	%	197,1%
After-tax IRR - assets	%	197,1%
Simple payback	yr	7,8
Equity payback	yr	0,5
Net Present Value (NPV)	€	2.568.546
Annual life cycle savings	€/yr	243.709
Benefit-Cost (B-C) ratio		26,91
GHG reduction cost	€/tCO2	(3,26)

Yearly cash flows

Year	Pre-tax	After-tax	Cumulative
#	€	€	€
0	-99.127	-99.127	-99.127
1	192.251	192.251	93.123
2	198.291	198.291	291.415
3	204.526	204.526	495.941
4	210.963	210.963	706.904
5	216.449	216.449	923.353
6	224.468	224.468	1.147.821
7	231.550	231.550	1.379.371
8	238.862	238.862	1.618.233
9	246.412	246.412	1.864.645
10	252.864	252.864	2.117.508
11	262.257	262.257	2.379.765
12	270.569	270.569	2.650.334
13	279.153	279.153	2.929.487
14	288.017	288.017	3.217.505
15	295.615	295.615	3.513.119
16	306.628	306.628	3.819.747
17	316.394	316.394	4.136.141
18	326.481	326.481	4.462.622
19	336.901	336.901	4.799.524
20	345.859	345.859	5.145.382
21	358.784	358.784	5.504.167
22	370.272	370.272	5.871.438
23	382.140	382.140	6.256.579
24	394.403	394.403	6.650.981
25	404.979	404.979	7.055.960

Cumulative cash flows graph



RETScreen Sensitivity and Risk Analysis - Heating project

Sensitivity analysis

Perform analysis on	Net Present Value (NPV)	
Sensitivity range	10%	
Threshold	6,5	€

Fuel cost - base case		Initial costs				€
€		89.215	94.171	99.127	104.084	109.040
		-10%	-5%	0%	5%	10%
64.750	-10%	2.453.181	2.448.225	2.443.268	2.438.312	2.433.356
68.347	-5%	2.515.820	2.510.864	2.505.907	2.500.951	2.495.995
71.944	0%	2.570.459	2.573.502	2.568.546	2.563.590	2.558.633
75.542	5%	2.641.098	2.636.141	2.631.185	2.626.229	2.621.272
79.139	10%	2.703.737	2.698.780	2.693.824	2.688.867	2.683.911

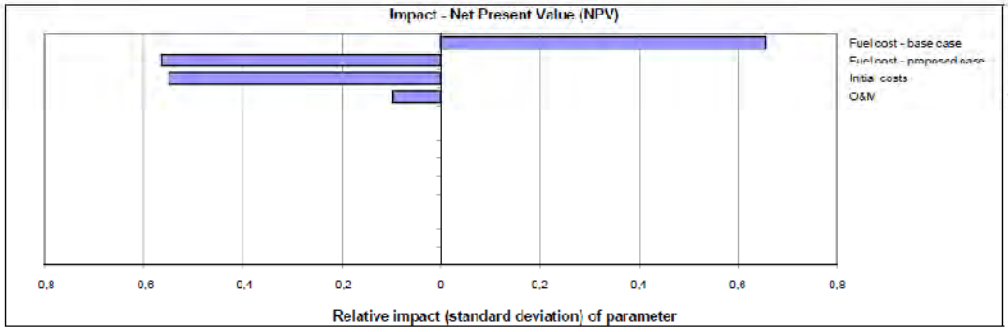
Fuel cost - proposed case		Initial costs				€
€		89.215	94.171	99.127	104.084	109.040
		-10%	-5%	0%	5%	10%
53.056	-10%	2.631.112	2.676.155	2.671.199	2.666.243	2.661.286
55.004	-5%	2.629.785	2.624.829	2.671.199	2.614.916	2.609.960
58.951	0%	2.578.459	2.573.502	2.568.546	2.563.590	2.609.960
61.899	5%	2.527.132	2.522.176	2.517.220	2.512.263	2.507.307
64.846	10%	2.475.806	2.470.850	2.465.893	2.460.937	2.455.981

Initial costs		O&M				€
€		288	304	320	336	352
		-10%	-5%	0%	5%	10%
89.215	-10%	2.578.910	2.578.684	2.578.459	2.578.233	2.578.008
94.171	5%	2.573.953	2.573.728	2.578.459	2.578.233	2.573.051
99.127	0%	2.568.997	2.568.772	2.568.546	2.568.321	2.568.095
104.084	5%	2.564.041	2.563.815	2.563.590	2.563.364	2.563.139
109.040	10%	2.559.084	2.558.859	2.558.633	2.558.408	2.558.182

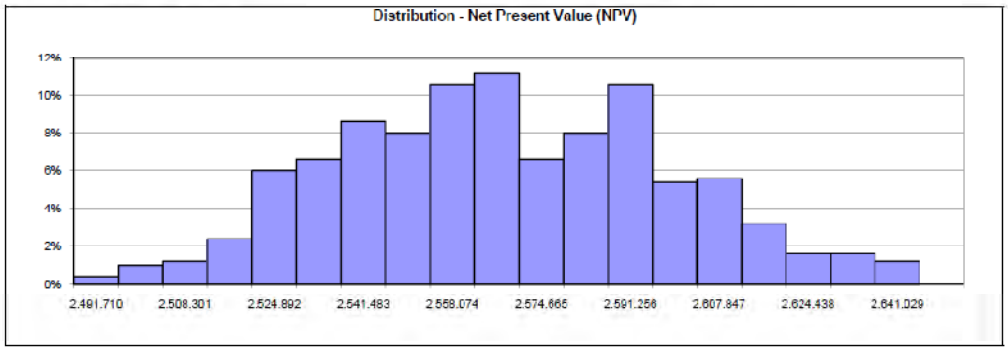
Risk analysis

Perform analysis on: Net Present Value (NPV)

Parameter	Unit	Value	Range (+/-)	Minimum	Maximum
Initial costs	€	99.127	50%	49.564	148.691
O&M	€	320	200%	-320	960
Fuel cost - proposed case	€	58.951	5%	56.004	61.899
Fuel cost - base case	€	71.944	5%	68.347	75.542
Debt term	yr	0	0%	0	0



Median	€	2.565.143
Level of risk	%	10,0%
Minimum within level of confidence	€	2.521.006
Maximum within level of confidence	€	2.618.644



RETScreen Sensitivity and Risk Analysis - Heating project

Sensitivity analysis

Perform analysis on	After-tax IRR - assets	
Sensitivity range	10%	
Threshold	6,5	%

			Initial costs			€
Fuel cost - base case		89.215	94.171	99.127	104.084	109.040
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
64.750	-10%	210,1%	199,2%	189,4%	180,5%	172,4%
68.347	-5%	214,4%	203,2%	193,2%	184,2%	175,9%
71.944	0%	218,6%	207,3%	**197,1%**	187,8%	179,4%
75.542	5%	222,9%	211,3%	200,9%	191,5%	182,9%
79.139	10%	227,2%	215,4%	204,8%	195,2%	186,4%

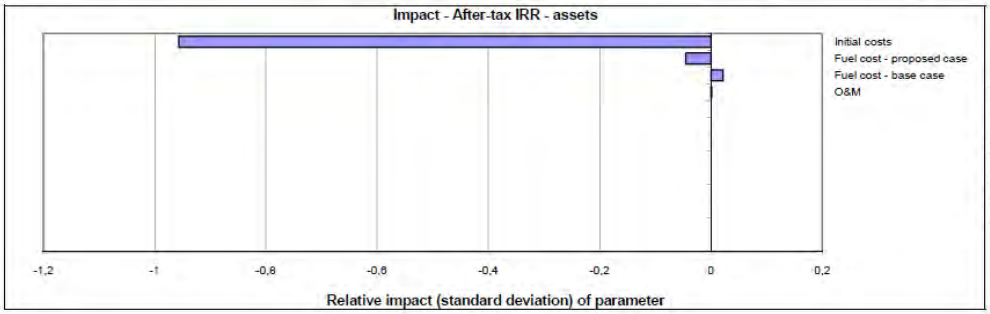
			Initial costs			€
Fuel cost - proposed case		89.215	94.171	99.127	104.084	109.040
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
53.056	-10%	225,6%	213,9%	200,6%	190,8%	185,2%
56.004	-5%	222,1%	210,6%	200,2%	190,8%	182,3%
58.951	0%	218,6%	207,3%	**197,1%**	187,8%	179,4%
61.899	5%	215,1%	204,0%	193,9%	184,8%	176,6%
64.846	10%	211,6%	200,6%	190,8%	181,8%	173,7%

			O&M			€
Initial costs		288	304	320	336	352
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
89.215	-10%	218,7%	218,6%	218,6%	218,6%	218,6%
94.171	-5%	207,3%	207,3%	207,3%	207,3%	207,2%
99.127	0%	197,1%	197,1%	**197,1%**	197,1%	197,0%
104.084	5%	187,9%	187,9%	187,8%	187,8%	187,8%
109.040	10%	179,5%	187,9%	187,8%	179,4%	179,4%

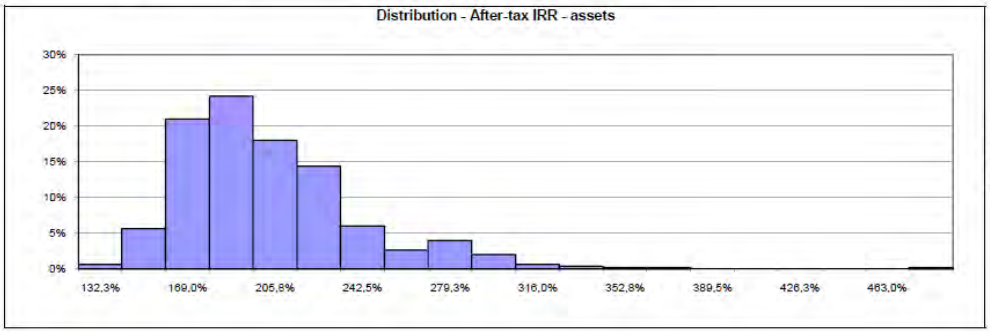
Risk analysis

Perform analysis on	After-tax IRR - assets

Parameter	Unit	Value	Range (+/-)	Minimum	Maximum
Initial costs	€	99.127	50%	49.564	148.691
O&M	€	320	200%	-320	960
Fuel cost - proposed case	€	58.951	5%	56.004	61.899
Fuel cost - base case	€	71.944	5%	68.347	75.542
Debt term	yr	0	0%	0	0



Median	%	194,9%
Level of risk	%	10,0%
Minimum within level of confidence	%	156,6%
Maximum within level of confidence	%	279,9%



Caso 2

Natural Resources Canada / Ressources naturelles Canada — Canada

RETScreen® International
www.retscreen.net

Clean Energy Project Analysis Software

Project information

See project database

Project name	Caso 2
Project location	Beja Portugal
Prepared for	MIEM
Prepared by	Patricia Martins
Project type	Heating
Technology	Solar water heater
Analysis type	Method 2
Heating value reference	Lower heating value (LHV)
Show settings	☑
Language - Langue	English - Anglais
User manual	English - Anglais
Currency	Euro
Units	Metric units

Site reference conditions

Select climate data location

Climate data location	Beja (Por/Ger-AFB)
Show data	☑

	Unit	Climate data location	Project location
Latitude	°N	38,0	38,0
Longitude	°E	-7,9	-7,9
Elevation	m	247	247
Heating design temperature	°C	3,4	
Cooling design temperature	°C	35,1	
Earth temperature amplitude	°C	22,8	

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	9,1	82,0%	2,37	99,3	3,3	8,5	276	0
February	10,3	79,7%	3,20	99,2	3,4	10,2	216	8
March	12,6	72,5%	4,46	99,0	3,3	14,3	167	81
April	13,5	73,4%	5,43	98,7	3,8	17,8	135	105
May	16,7	69,6%	6,23	98,7	3,5	23,7	40	208
June	20,9	61,0%	7,36	98,8	3,4	30,2	0	327
July	23,8	55,8%	7,51	98,7	3,7	33,2	0	428
August	23,7	57,2%	6,73	98,7	3,5	31,6	0	425
September	21,6	62,2%	5,13	98,8	3,4	26,5	0	348
October	17,2	72,1%	3,41	98,9	3,3	19,6	25	223
November	13,1	81,3%	2,43	99,0	3,3	13,6	147	93
December	10,5	84,2%	1,97	99,2	3,3	10,2	233	16
Annual	16,1	70,0%	4,69	98,9	3,4	20,0	1.230	2.261
Measured at	m				10,0	0,0		

Complete Energy Model sheet

RETScreen4 2009-05-25 — © Minister of Natural Resources Canada 1997-2009. — NRCan/CanmetENERGY

RETScreen Energy Model - Heating project

Heating project

Technology		Solar water heater			
Load characteristics					
Application		☐ Swimming pool ☒ Hot water			
	Unit	Base case	Proposed case		
Load type		Industrial			
Daily hot water use	L/d	1.941.130	1.941.130		
Temperature	°C	50	50		
Operating days per week	d	7	7		
☐ Percent of month used					
Supply temperature method		User defined			
Water temperature - minimum	°C	52			
Water temperature - maximum	°C	57			
	Unit	Base case	Proposed case	Energy saved	Incremental initial costs
Heating	MWh	2.881,0	2.881,0	0%	
Resource assessment					
Solar tracking mode		Fixed			
Slope	°	36,0			
Azimuth	°	0,0			
☐ Show data					
Solar water heater					
Type		Glazed			See technical note
Manufacturer		Sonnenkraft			See product database
Model		SKS00L			
Gross area per solar collector	m²	2,57			
Aperture area per solar collector	m²	2,34			
Fr (tau alpha) coefficient		0,69			
Fr UL coefficient	(W/m²)/°C	3,59			
Temperature coefficient for Fr UL	(W/m²)/°C²	0,000			
Number of collectors		300	307		
Solar collector area	m²	771,30			
Capacity	kW	490,56			
Miscellaneous losses	%	5,0%			
Balance of system & miscellaneous					
Storage		Yes			
Storage capacity / solar collector area	L/m²	75			
Storage capacity	L	52.560,0			
Heat exchanger	yes/no	No			
Miscellaneous losses	%	5,0%			
Pump power / solar collector area	W/m²	5,00			
Electricity rate	€/kWh	0,100			
Summary					
Electricity - pump	MWh	6,3			
Heating delivered	MWh	429,6			
Solar fraction	%	15%			
Heating system					
☐ Project verification		Base case	Proposed case		
Fuel type		Natural gas - m³	Natural gas - m³		
Seasonal efficiency		70%	70%		
Fuel consumption - annual	m³	436.068,4	371.046,3	m³	
Fuel rate	€/m³	0,330	0,330	€/m³	
Fuel cost	€	143.903	122.446		

RETScreen Cost Analysis - Heating project

Settings

- (•) Method 1
- ( ) Method 2
- (•) Notes/Range
- ( ) Second currency
- ( ) Cost allocation

Notes/Range: None

Initial costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount	Relative costs
Feasibility study					
Feasibility study	cost	1	€ 7.500	€ 7.500	
Sub-total:				€ 7.500	3.7%
Development					
Development	cost		€ -	€ -	
Sub-total:				€ -	0,0%
Engineering					
Engineering	cost		€ -	€ -	
Sub-total:				€ -	0,0%
Heating system					
Solar water heater				€ -	
User-defined	cost	300	€ 650	€ 195.000	
				€ -	
Sub-total:				€ 195.000	97,1%
Balance of system & miscellaneous					
Spare parts	%			€ -	
Transportation	project			€ -	
Training & commissioning	p-d			€ -	
User-defined	credit	212	€ 17	€ (3.604)	
Contingencies	%	1,0%	€ 198.896	€ 1.989	
Interest during construction		12 month(s)	€ 200.885	€ -	
Sub-total:				€ (1.615)	-0,8%
Total initial costs				€ 200.885	100,0%

Annual costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
O&M				
Parts & labour	project			€ -
User-defined	cost	32	€ 10	€ 320
Contingencies	%		€ 320	€ -
Sub-total:				€ 320
Fuel cost - proposed case				
Natural gas	m³	371.048	€ 0,330	€ 122.446
Electricity	MWh	6	€ 100,000	€ 627
Sub-total:				€ 123.073

Annual savings	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
Fuel cost - base case				
Natural gas	m³	436.068	€ 0,330	€ 143.903
Sub-total:				€ 143.903

Periodic costs (credits)	Unit	Year	Unit cost	Amount
User-defined	cost	5	€ 1.000	€ 1.000
Poupança de Consumo de Gás Natural	credit	1	€ 217.158	€ (217.158)
End of project life	cost			€ -

RETScreen Emission Reduction Analysis - Heating project

Emission Analysis

- (•) Method 1
- ( ) Method 2
- ( ) Method 3

Base case electricity system (Baseline)

Country region	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
Portugal	Natural gas	0,347		0,347

☐ Baseline changes during project life

Base case system GHG summary (Baseline)

Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO2/MWh	GHG emission tCO2
Natural gas	100,0%	4.116	0,197	812,8
Total	100,0%	4.116	0,197	812,8

Proposed case system GHG summary (Heating project)

Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO2/MWh	GHG emission tCO2
Natural gas	88,9%	3.502	0,197	691,6
Solar	10,9%	430	0,000	0,0
Electricity	0,2%	6	0,347	2,2
Total	100,0%	3.938	0,176	693,7

GHG emission reduction summary

	Base case GHG emission tCO2	Proposed case GHG emission tCO2	Gross annual GHG emission reduction tCO2	GHG credits transaction fee %	Net annual GHG emission reduction tCO2
Heating project	812,8	693,7	119,0		119,0

Net annual GHG emission reduction 119 tCO2 is equivalent to 24,2 Cars & light trucks not used

RETScreen Financial Analysis - Heating project

Financial parameters

General		
Fuel cost escalation rate	%	5,0%
Inflation rate	%	3,0%
Discount rate	%	8,2%
Project life	yr	25
Finance		
Incentives and grants	€	0
Debt ratio	%	0,0%

Income tax analysis

Annual income

Electricity export income

GHG reduction income

Net GHG reduction	tCO2/yr	119
Net GHG reduction - 25 yrs	tCO2	2.975

Customer premium income (rebate)

Other income (cost)

Clean Energy (CE) production income

Project costs and savings/income summary

Initial costs			
Feasibility study	3,7%	€	7.500
Heating system	97,1%	€	195.000
Balance of system & misc.	-0,8%	€	-1.615
Total initial costs	**100,0%**	**€**	**200.885**
Annual costs and debt payments			
O&M		€	320
Fuel cost - proposed case		€	123.073
Total annual costs		**€**	**123.393**
Periodic costs (credits)			
User-defined - 5 yrs		€	1.000
Poupança de Consumo de Gás Natural - 1 yr		€	-217.158
Annual savings and income			
Fuel cost - base case		€	143.903
Total annual savings and income		**€**	**143.903**

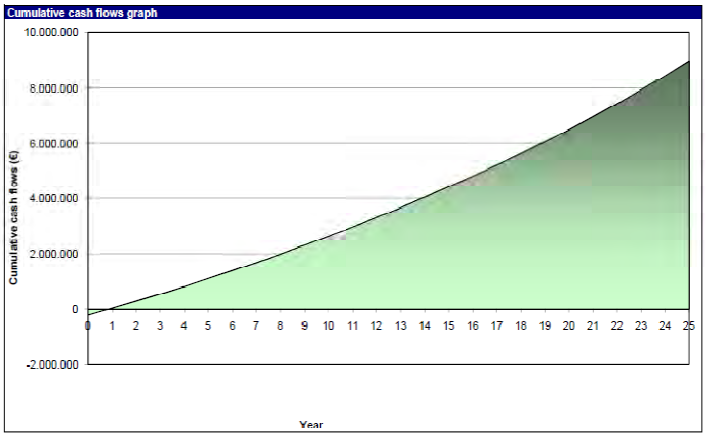
Financial viability

Pre-tax IRR - equity	%	125,2%
Pre-tax IRR - assets	%	125,2%
After-tax IRR - equity	%	125,2%
After-tax IRR - assets	%	125,2%
Simple payback	yr	9,8
Equity payback	yr	0,8
Net Present Value (NPV)	€	3.215.369
Annual life cycle savings	€/yr	305.081
Benefit-Cost (B-C) ratio		17,01
GHG reduction cost	€/tCO2	(2.564)

Yearly cash flows

Year #	Pre-tax €	After-tax €	Cumulative €
0	-200.885	-200.885	-200.885
1	245.214	245.214	44.329
2	253.008	253.008	297.336
3	261.057	261.057	558.394
4	269.371	269.371	827.765
5	276.799	276.799	1.104.564
6	286.829	286.829	1.391.393
7	295.992	295.992	1.687.385
8	305.458	305.458	1.992.843
9	315.237	315.237	2.308.081
10	323.997	323.997	2.632.077
11	335.780	335.780	2.967.857
12	346.565	346.565	3.314.422
13	357.710	357.710	3.672.133
14	369.227	369.227	4.041.360
15	379.571	379.571	4.420.931
16	393.429	393.429	4.814.360
17	406.141	406.141	5.220.501
18	419.280	419.280	5.639.781
19	432.861	432.861	6.072.642
20	445.094	445.094	6.517.736
21	461.412	461.412	6.979.148
22	476.415	476.415	7.455.563
23	491.926	491.926	7.947.488
24	507.963	507.963	8.455.452
25	522.452	522.452	8.977.904

Cumulative cash flows graph



RETScreen Sensitivity and Risk Analysis - Heating project

Sensitivity analysis

Perform analysis on	Net Present Value (NPV)	
Sensitivity range	10%	
Threshold	6,5	€

Fuel cost - base case		100.796	Initial costs 190.041	200.885	210.929	€ 220.973
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
129.512	10%	2.984.878	2.974.834	2.964.789	2.954.745	2.944.701
136.707	-5%	3.110.168	3.100.123	3.090.079	3.080.035	3.069.991
143.903	0%	3.235.458	3.225.413	3.215.369	3.205.325	3.195.281
151.098	5%	3.360.747	3.350.703	3.340.659	3.330.615	3.320.570
158.293	10%	3.486.037	3.475.993	3.465.949	3.455.904	3.445.860

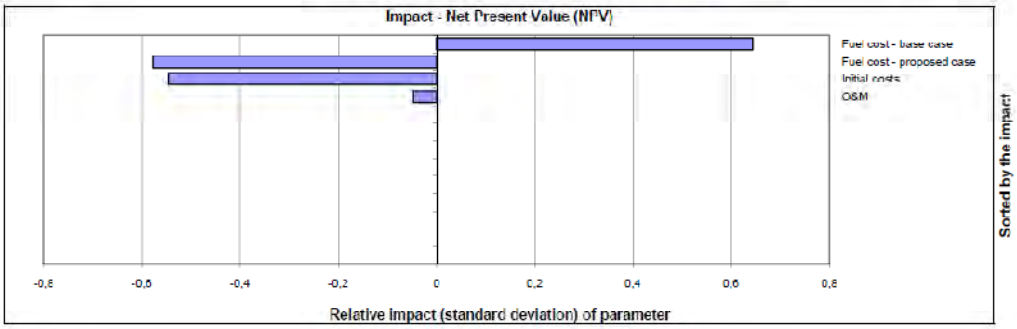
Fuel cost - proposed case		180.796	Initial costs 190.841	200.885	210.929	€ 220.973
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
110.766	-10%	3.449.767	3.439.723	3.429.679	3.419.634	3.409.590
116.920	-5%	3.342.612	3.332.568	3.322.524	3.312.480	3.302.435
123.073	0%	3.235.458	3.225.413	3.215.369	3.205.325	3.195.281
129.227	5%	3.128.303	3.118.259	3.108.214	3.098.170	3.088.126
135.381	10%	3.021.148	3.011.104	3.001.060	2.991.015	2.980.971

O&M		180.796	Initial costs 190.841	200.885	210.929	€ 220.973
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
288	-10%	3.235.909	3.225.864	3.215.820	3.205.776	3.195.732
304	5%	3.235.683	3.225.639	3.215.595	3.205.550	3.195.506
320	0%	3.235.458	3.225.413	3.215.369	3.205.325	3.195.281
336	5%	3.235.232	3.225.188	3.215.144	3.205.099	3.195.055
352	10%	3.235.007	3.224.962	3.214.918	3.204.874	3.194.830

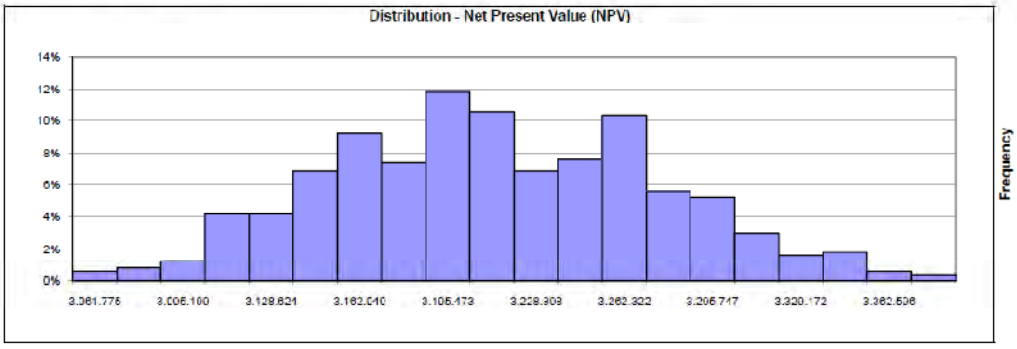
Risk analysis

Perform analysis on	Net Present Value (NPV)

Parameter	Unit	Value	Range (+/-)	Minimum	Maximum
Initial costs	€	200.885	50%	100.442	301.327
O&M	€	320	200%	320	960
Fuel cost - proposed case	€	123.073	5%	116.920	129.227
Fuel cost - base case	€	143.903	5%	136.707	151.098
Debt term	yr	0	0%	0	0



Median	€	3.208.835
Level of risk	%	5,0%
Minimum within level of confidence	€	3.103.404
Maximum within level of confidence	€	3.346.605



RETScreen Sensitivity and Risk Analysis - Heating project

Sensitivity analysis

Perform analysis on	After-tax IRR - assets	
Sensitivity range	10%	
Threshold	6,5	%

Fuel cost - base case			Initial costs			€
€		180.796	190.841	200.885	210.929	220.973
		-10%	-5%	0%	5%	10%
129.512	-10%	130,3%	123,6%	117,6%	112,1%	107,2%
136.707	-5%	134,5%	127,6%	121,4%	115,6%	110,7%
143.903	0%	138,8%	131,7%	**125,2%**	119,4%	114,1%
151.098	5%	143,0%	135,7%	129,1%	123,1%	117,6%
158.293	10%	147,3%	139,7%	132,9%	126,7%	121,1%

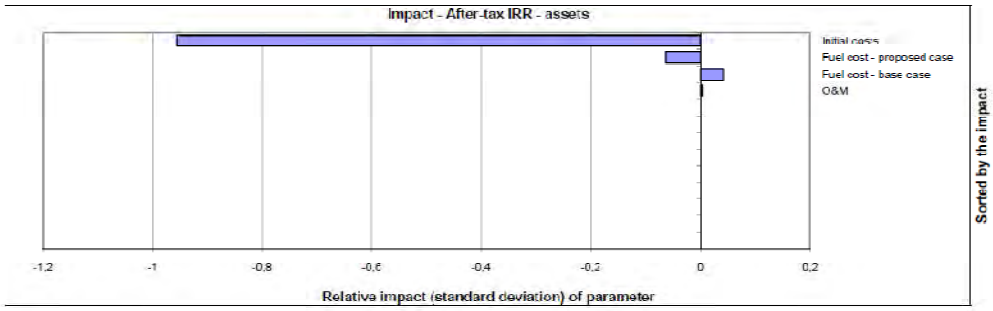
Fuel cost - proposed case			Initial costs			€
€		180.796	190.841	200.885	210.929	220.973
		-10%	-5%	0%	5%	10%
110.766	-10%	145,0%	138,5%	131,8%	125,6%	120,1%
116.920	-5%	142,4%	135,1%	128,5%	122,5%	117,1%
123.073	0%	138,8%	131,7%	**125,2%**	119,4%	114,1%
129.227	5%	135,2%	128,2%	122,0%	116,3%	111,2%
135.381	10%	131,5%	124,8%	118,7%	113,2%	108,2%

O&M			Initial costs			€
€		180.796	190.841	200.885	210.929	220.973
		-10%	-5%	0%	5%	10%
288	-10%	133,8%	131,7%	125,3%	119,4%	114,2%
304	-5%	133,8%	131,7%	125,2%	119,4%	114,1%
320	0%	133,8%	131,7%	**125,2%**	119,4%	114,1%
336	5%	133,8%	131,7%	125,2%	119,4%	114,1%
352	10%	133,8%	131,6%	125,2%	119,4%	114,1%

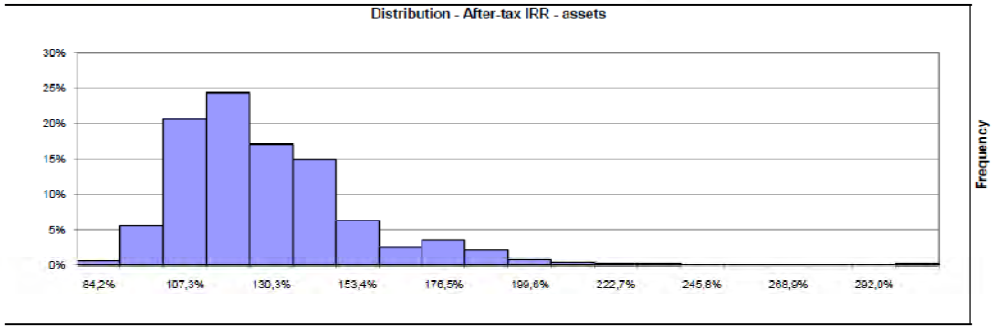
Risk analysis

Perform analysis on	After-tax IRR - assets

Parameter	Unit	Value	Range (+/-)	Minimum	Maximum
Initial costs	€	200.885	50%	100.442	301.327
O&M	€	320	200%	-320	960
Fuel cost - proposed case	€	123.073	5%	116.920	129.227
Fuel cost - base case	€	143.903	5%	136.707	151.098
Debt term	yr	0	0%	0	0



Median	%	123,9%
Level of risk	%	5,0%
Minimum within level of confidence	%	95,6%
Maximum within level of confidence	%	188,1%



Caso 3

Natural Resources Canada / Ressources naturelles Canada — Canada

RETScreen® International
www.retscreen.net

Clean Energy Project Analysis Software

Project information — *See project database*

Project name	Caso 3
Project location	Guarda - Portugal
Prepared for	MIEM
Prepared by	Patrícia Martins
Project type	Heating
Technology	Solar water heater
Analysis type	Method 2
Heating value reference	Lower heating value (LHV)
Show settings	☑
Language - Langue	English - Anglais
User manual	English - Anglais
Currency	Euro
Units	Metric units

Site reference conditions — *Select climate data location*

Climate data location	Guarda
Show data	☑

	Unit	Climate data location	Project location
Latitude	°N	40,6	40,6
Longitude	°E	-7,3	-7,3
Elevation	m	474	474
Heating design temperature	°C	1,4	
Cooling design temperature	°C	28,9	
Earth temperature amplitude	°C	20,7	

Month	Air temperature °C	Relative humidity %	Daily solar radiation - horizontal kWh/m²/d	Atmospheric pressure kPa	Wind speed m/s	Earth temperature °C	Heating degree-days °C-d	Cooling degree-days °C-d
January	6,8	77,0%	1,99	96,7	4,1	6,0	347	0
February	7,8	73,2%	2,83	96,6	4,3	7,5	287	0
March	10,6	61,5%	4,06	96,4	4,2	11,4	230	18
April	12,3	58,5%	4,90	96,0	4,0	14,3	171	69
May	16,2	52,2%	5,88	96,1	3,7	19,7	55	193
June	21,1	43,2%	7,06	96,2	3,3	25,7	0	334
July	23,7	40,0%	7,23	96,2	3,4	28,6	0	425
August	23,0	44,3%	6,40	96,2	3,3	27,0	0	402
September	20,1	51,9%	4,77	96,3	3,2	22,5	0	302
October	15,4	64,6%	3,01	96,3	3,4	16,0	81	167
November	10,8	73,7%	2,08	96,3	3,7	10,4	215	25
December	8,3	77,2%	1,67	96,5	4,1	7,4	302	0
Annual	14,7	59,7%	4,33	96,3	3,7	16,4	1.606	1.936
Measured at	m				10,0	0,0		

Complete Energy Model sheet

RETScreen4 2009-05-25 — © Minister of Natural Resources Canada 1997-2009. — NRCan/CanmetENERGY

RETScreen Energy Model - Heating project

Heating project

Technology		Solar water heater			
Load characteristics					
Application		☐ Swimming pool			
		☒ Hot water			
	Unit	**Base case**	**Proposed case**		
Load type		Industrial			
Daily hot water use	L/d	1.137.960	1.137.960		
Temperature	°C	40	40		
Operating days per week	d	7	7		
☐ **Percent of month used**					
Supply temperature method		User-defined			
Water temperature - minimum	°C	35			
Water temperature - maximum	°C	39			
	Unit	**Base case**	**Proposed case**	**Energy saved**	**Incremental initial costs**
Heating	MWh	1.448,1	1.448,1	0%	
Resource assessment					
Solar tracking mode		Fixed			
Slope	°	36,0			
Azimuth	°	0,0			
☐ **Show data**					
Solar water heater					
Type		Glazed			*See technical note*
Manufacturer		Sonnenkraft			*See product database*
Model		SK500L			
Gross area per solar collector	m²	2,57			
Aperture area per solar collector	m²	2,34			
Fr (tau alpha) coefficient		0,69			
Fr UL coefficient	(W/m²)/°C	3,59			
Temperature coefficient for Fr UL	(W/m²)/°C²	0,000			
Number of collectors		145	153		
Solar collector area	m²	372,80			
Capacity	kW	237,10			
Miscellaneous losses	%	5,0%			
Balance of system & miscellaneous					
Storage		Yes			
Storage capacity / solar collector area	L/m²	75			
Storage capacity	L	25.404,0			
Heat exchanger	yes/no	No			
Miscellaneous losses	%	5,0%			
Pump power / solar collector area	W/m²	5,00			
Electricity rate	€/kWh	0,100			
Summary					
Electricity - pump	MWh	3,8			
Heating delivered	MWh	241,2			
Solar fraction	%	17%			
Heating system					
Project verification		**Base case**	**Proposed case**		
Fuel type		Natural gas - m³	Natural gas - m³		
Seasonal efficiency		70%	70%		
Fuel consumption - annual	m³	219.180,3	182.676,7	m³	
Fuel rate	€/m³	0,330	0,330	€/m³	
Fuel cost	€	72.330	60.283		

RETScreen Cost Analysis - Heating project

Settings

- (•) Method 1
- ( ) Method 2

- (•) Notes/Range
- ( ) Second currency
- ( ) Cost allocation

Notes/Range: None

Initial costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount	Relative costs
Feasibility study					
Feasibility study	cost	1	€ 7.500	€ 7.500	
Sub-total:				€ 7.500	7,6%
Development					
Development	cost		€ -	€ -	
Sub-total:				€ -	0,0%
Engineering					
Engineering	cost		€ -	€ -	
Sub-total:				€ -	0,0%
Heating system					
Solar water heater				€ -	
User-defined	cost	145	€ 650	€ 94.250	
				€ -	
Sub-total:				€ 94.250	95,1%
Balance of system & miscellaneous					
Spare parts	%			€ -	
Transportation	project			€ -	
Training & commissioning	p-d			€ -	
User-defined	credit	212	€ 17	€ (3.604)	
Contingencies	%	1,0%	€ 98.146	€ 981	
Interest during construction		12 month(s)	€ 99.127	€ -	
Sub-total:				€ (2.623)	-2,6%
Total initial costs				€ 99.127	100,0%

Annual costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
O&M				
Parts & labour	project			€ -
User-defined	cost	32	€ 10	€ 320
Contingencies	%		€ 320	€ -
Sub-total:				€ 320
Fuel cost - proposed case				
Natural gas	m³	182.677	€ 0,330	€ 60.283
Electricity	MWh	4	€ 100,000	€ 378
Sub-total:				€ 60.662

Annual savings	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
Fuel cost - base case				
Natural gas	m³	219.180	€ 0,330	€ 72.330
Sub-total:				€ 72.330

Periodic costs (credits)	Unit	Year	Unit cost	Amount
User-defined	cost	5	€ 1.000	€ 1.000
Poupança em Gás Natural consumido	credit	1	€ 173.726	€ (173.726)
End of project life	cost			€ -

RETScreen Emission Reduction Analysis - Heating project

Emission Analysis

- (•) Method 1
- ( ) Method 2
- ( ) Method 3

Base case electricity system (Baseline)

Country - region	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
Portugal	Natural gas	0,347		0,347

☐ Baseline changes during project life

Base case system GHG summary (Baseline)

Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO2/MWh	GHG emission tCO2
Natural gas	100,0%	2.069	0,197	408,5
Total	100,0%	2.069	0,197	408,5

Proposed case system GHG summary (Heating project)

Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO2/MWh	GHG emission tCO2
Natural gas	87,6%	1.724	0,197	340,5
Solar	12,2%	241	0,000	0,0
Electricity	0,2%	4	0,347	1,3
Total	100,0%	1.969	0,174	341,8

GHG emission reduction summary

	Base case GHG emission tCO2	Proposed case GHG emission tCO2	Gross annual GHG emission reduction tCO2	GHG credits transaction fee %	Net annual GHG emission reduction tCO2
Heating project	408,5	341,8	66,7		66,7

Net annual GHG emission reduction 66,7 tCO2 is equivalent to 13,6 Cars & light trucks not used

RETScreen Financial Analysis - Heating project

Financial parameters

General

Fuel cost escalation rate	%	5,0%
Inflation rate	%	3,0%
Discount rate	%	8,2%
Project life	yr	25

Finance

Incentives and grants	€	0
Debt ratio	%	0,0%

Income tax analysis

Annual income

Electricity export income

GHG reduction income

Net GHG reduction	tCO2/yr	67
Net GHG reduction - 25 yrs	tCO2	1.668

Customer premium income (rebate)

Other income (cost)

Clean Energy (CE) production income

Project costs and savings/income summary

Initial costs

Feasibility study	7,6%	€	7.500
Heating system	95,1%	€	94.250
Balance of system & misc.	-2,6%	€	-2.623
Total initial costs	**100,0%**	€	**99.127**

Annual costs and debt payments

O&M	€	320
Fuel cost - proposed case	€	60.662
Total annual costs	€	**60.982**

Periodic costs (credits)

User-defined - 5 yrs	€	1.000
Poupança em Gás Natural consumido - 1 yrs	€	-173.726

Annual savings and income

Fuel cost - base case	€	72.330
Total annual savings and income	€	**72.330**

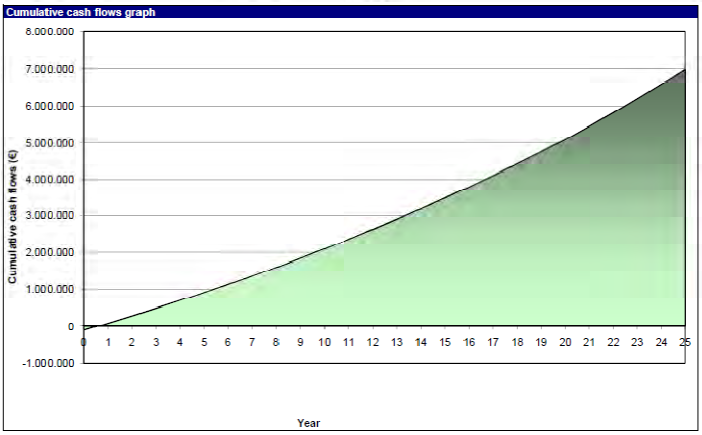
Financial viability

Pre-tax IRR - equity	%	195,7%
Pre-tax IRR - assets	%	195,7%
After-tax IRR - equity	%	195,7%
After-tax IRR - assets	%	195,7%
Simple payback	yr	8,7
Equity payback	yr	0,5
Net Present Value (NPV)	€	2.545.471
Annual life cycle savings	€/yr	241.519
Benefit-Cost (B-C) ratio		26,68
GHG reduction cost	€/tCO2	(3.620)

Yearly cash flows

Year #	Pre-tax €	After-tax €	Cumulative €
0	-99.127	-99.127	-99.127
1	190.859	190.859	91.732
2	196.830	196.830	288.562
3	202.992	202.992	491.555
4	209.352	209.352	700.907
5	214.757	214.757	915.664
6	222.692	222.692	1.138.356
7	229.685	229.685	1.368.042
8	236.904	236.904	1.604.946
9	244.356	244.356	1.849.302
10	250.705	250.705	2.100.007
11	258.990	258.990	2.358.996
12	268.189	268.189	2.628.187
13	276.654	276.654	2.904.841
14	285.394	285.394	3.190.235
15	292.860	292.860	3.483.094
16	303.735	303.735	3.786.830
17	313.357	313.357	4.100.186
18	323.292	323.292	4.423.479
19	333.553	333.553	4.757.031
20	342.343	342.343	5.099.374
21	355.093	355.093	5.454.466
22	366.395	366.395	5.820.862
23	370.070	370.070	6.190.932
24	390.129	390.129	6.581.061
25	400.491	400.491	6.909.552

Cumulative cash flows graph



RETScreen Sensitivity and Risk Analysis - Heating project

Sensitivity analysis

Perform analysis on	Net Present Value (NPV)	
Sensitivity range	10%	
Threshold	6,5	€

			Initial costs			€
Fuel cost - base case		89.215	94.171	99.127	104.084	109.040
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
65.097	-10%	2.429.435	2.424.479	2.419.522	2.414.566	2.409.610
68.713	-5%	2.492.409	2.487.453	2.482.497	2.477.540	2.472.584
72.330	0%	2.555.384	2.550.427	**2.545.471**	2.540.515	2.535.558
75.946	5%	2.618.358	2.613.402	2.608.445	2.603.489	2.598.532
79.562	10%	2.681.332	2.676.376	2.671.419	2.666.463	2.661.507

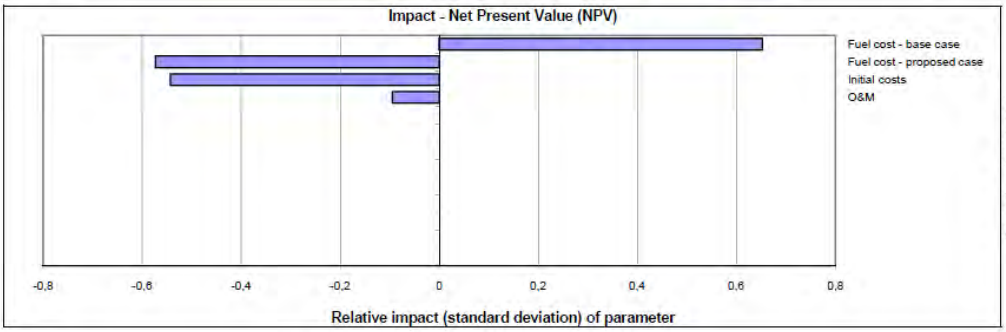
			O&M			€
Fuel cost - proposed case		288	304	320	336	352
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
54.595	-10%	2.651.553	2.651.327	2.651.102	2.650.876	2.650.651
57.629	-5%	2.598.737	2.598.512	2.598.286	2.598.061	2.597.835
60.662	0%	2.545.922	2.545.696	**2.545.471**	2.545.245	2.545.020
63.695	5%	2.493.106	2.492.881	2.492.655	2.492.430	2.492.204
66.728	10%	2.440.291	2.440.065	2.439.840	2.439.614	2.439.389

			Debt term			yr
Debt interest rate		0	0	0	0	0
%		-10%	-5%	0%	5%	10%
0,00%	-10%	2.545.471	2.545.471	2.545.471	2.545.471	2.545.471
0,00%	-5%	2.545.471	2.545.471	2.545.471	2.545.471	2.545.471
0,00%	0%	2.545.471	2.545.471	**2.545.471**	2.545.471	2.545.471
0,00%	5%	2.545.471	2.545.471	2.545.471	2.545.471	2.545.471
0,00%	10%	2.545.471	2.545.471	2.545.471	2.545.471	2.545.471

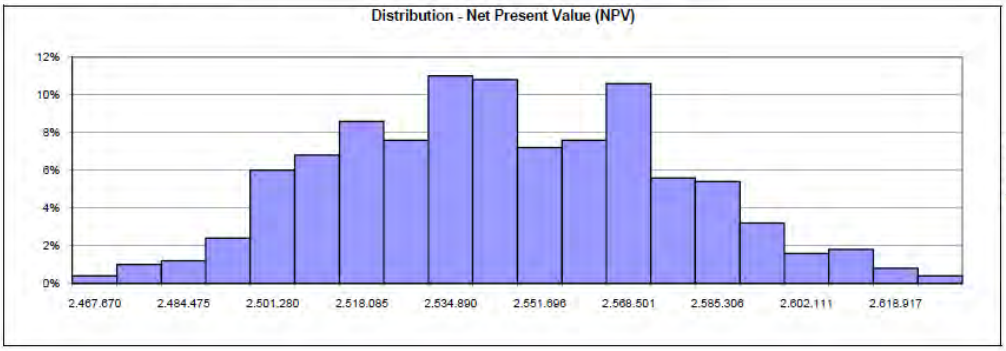
Risk analysis

Perform analysis on	Net Present Value (NPV)

Parameter	Unit	Value	Range (+/-)	Minimum	Maximum
Initial costs	€	99.127	50%	49.564	148.691
O&M	€	320	200%	-320	960
Fuel cost - proposed case	€	60.662	5%	57.629	63.695
Fuel cost - base case	€	72.330	5%	68.713	75.946
Debt term	yr	0	0%	0	0



Median	€	2.542.100
Level of risk	%	5,0%
Minimum within level of confidence	€	2.488.661
Maximum within level of confidence	€	2.611.293



RETScreen Sensitivity and Risk Analysis - Heating project

Sensitivity analysis

Perform analysis on	After-tax IRR - assets
Sensitivity range	10%
Threshold	6,5 %

			Initial costs			€
Fuel cost - base case		89.215	94.171	99.127	104.084	109.040
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
65.097	-10%	208,5%	197,6%	187,9%	179,1%	171,1%
68.713	-5%	212,8%	201,7%	191,8%	182,8%	174,6%
72.330	0%	217,1%	205,8%	195,7%	186,5%	178,2%
75.946	5%	221,3%	209,9%	199,5%	190,2%	181,7%
79.562	10%	225,6%	213,9%	203,4%	193,9%	185,2%

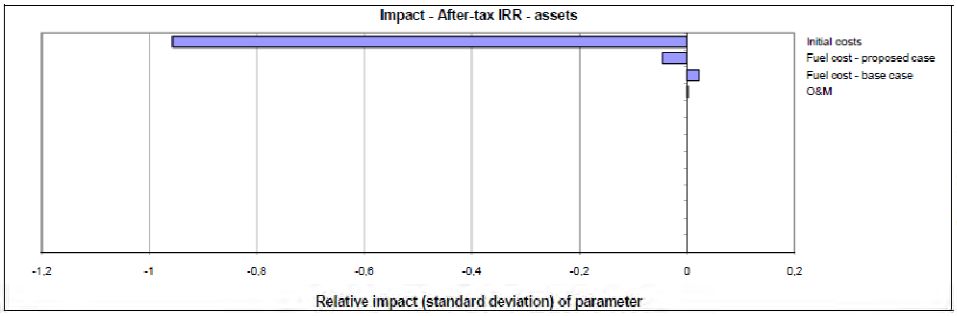
			O&M			€
Fuel cost - proposed case		288	304	320	336	352
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
54.595	-10%	202,2%	202,2%	202,1%	202,1%	202,1%
57.629	-5%	198,9%	198,9%	198,9%	198,9%	198,9%
60.662	0%	195,7%	195,7%	195,7%	195,0%	195,0%
63.695	5%	192,4%	192,4%	192,4%	192,4%	192,4%
66.728	10%	189,2%	189,2%	189,2%	189,2%	189,1%

			Debt term			yr
Debt interest rate		0	0	0	0	0
%		-10%	-5%	0%	5%	10%
0,00%	-10%	195,7%	195,7%	195,7%	195,7%	195,7%
0,00%	-5%	195,7%	195,7%	195,7%	195,7%	195,7%
0,00%	0%	195,7%	195,7%	195,7%	195,7%	195,7%
0,00%	5%	195,7%	195,7%	195,7%	195,7%	195,7%
0,00%	10%	195,7%	195,7%	195,7%	195,7%	195,7%

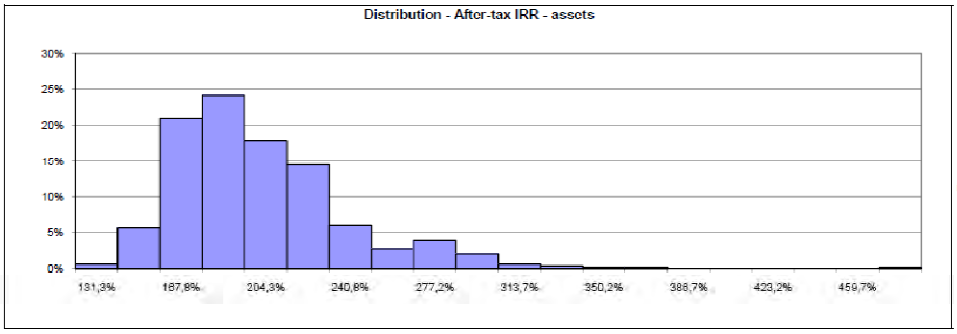
Risk analysis

Perform analysis on: After-tax IRR - assets

Parameter	Unit	Value	Range (+/-)	Minimum	Maximum
Initial costs	€	99.127	50%	49.564	148.691
O&M	€	320	200%	-320	960
Fuel cost - proposed case	€	60.662	5%	57.629	63.695
Fuel cost - base case	€	72.330	5%	68.713	75.946
Debt term	yr	0	0%	0	0



Median	%	193,4%
Level of risk	%	5,0%
Minimum within level of confidence	%	149,0%
Maximum within level of confidence	%	293,1%



Caso 4

Natural Resources Canada / Ressources naturelles Canada — Canada

RETScreen® International
www.retscreen.net

Clean Energy Project Analysis Software

Project information — *See project database*

Project name	Caso 4
Project location	Guarda - Portugal
Prepared for	MIEM
Prepared by	Patrícia Martins
Project type	Heating
Technology	Solar water heater
Analysis type	Method 2
Heating value reference	Lower heating value (LHV)
Show settings	☑
Language - Langue	English - Anglais
User manual	English - Anglais
Currency	Euro
Units	Metric units

Site reference conditions — *Select climate data location*

Climate data location	Guarda
Show data	☑

	Unit	Climate data location	Project location
Latitude	°N	40,6	40,6
Longitude	°E	-7,3	-7,3
Elevation	m	474	474
Heating design temperature	°C	1,4	
Cooling design temperature	°C	28,9	
Earth temperature amplitude	°C	20,7	

Month	Air temperature °C	Relative humidity %	Daily solar radiation - horizontal kWh/m²/d	Atmospheric pressure kPa	Wind speed m/s	Earth temperature °C	Heating degree-days °C-d	Cooling degree-days °C-d
January	6,8	77,0%	1,99	96,7	4,1	6,0	347	0
February	7,8	73,2%	2,83	96,6	4,3	7,5	287	0
March	10,6	61,5%	4,06	96,4	4,2	11,4	230	18
April	12,3	58,5%	4,90	96,0	4,0	14,3	171	69
May	16,2	52,2%	5,88	96,1	3,7	19,7	55	193
June	21,1	43,2%	7,06	96,2	3,3	25,7	0	334
July	23,7	40,0%	7,23	96,2	3,4	28,6	0	425
August	23,0	44,3%	6,40	96,2	3,3	27,0	0	402
September	20,1	51,9%	4,77	96,3	3,2	22,5	0	302
October	15,4	64,6%	3,01	96,3	3,4	16,0	81	167
November	10,0	73,7%	2,00	96,3	3,7	10,4	215	25
December	8,3	77,2%	1,67	96,5	4,1	7,4	302	0
Annual	14,7	59,7%	4,33	96,3	3,7	16,4	1.686	1.936
Measured at	m				10,0	0,0		

Complete Energy Model sheet

RETScreen4 2009-05-25 — © Minister of Natural Resources Canada 1997-2009. — NRCan/CanmetENERGY

RETScreen Energy Model - Heating project

Heating project

Technology		Solar water heater				
Load characteristics						
Application		☐ Swimming pool ☒ Hot water				
	Unit	Base case	Proposed case			
Load type		Industrial				
Daily hot water use	l/d	1 947 190	1 947 190			
Temperature	°C	58	58			
Operating days per week	d	/	/			
☐ Percent of month used						
Supply temperature method		User-defined				
Water temperature - minimum	°C	52				
Water temperature - maximum	°C	57				
	Unit	Base case	Proposed case	Energy saved	Incremental initial costs	
Heating	MWh	2.890,0	2.890,0	0%		
Resource assessment						
Solar tracking mode		Fixed				
Slope	°	36,0				
Azimuth	°	0,0				
☐ Show data						
Solar water heater						
Type		Glazed				See technical note
Manufacturer		Sonnenkraft				See product database
Model		SK500L				
Gross area per solar collector	m²	2,57				
Aperture area per solar collector	m²	2,34				
Fr (tau alpha) coefficient		0,60				
Fr UL coefficient	(W/m²)/°C	3,58				
Temperature coefficient for Fr UL	(W/m²)/°C²	0,000				
Number of collectors		350	325			
Solar collector area	m²	899,00				
Capacity	kW	572,32				
Miscellaneous losses	%	5,0%				
Balance of system & miscellaneous						
Storage		Yes				
Storage capacity / solar collector area	L/m²	75				
Storage capacity	L	61.320,0				
Heat exchanger	yes/no	No				
Miscellaneous losses	%	5,0%				
Pump power / solar collector area	W/m²	5,00				
Electricity rate	€/kWh	0,100				
Summary						
Electricity pump	MWh	6,6				
Heating delivered	MWh	428,3				
Solar fraction	%	15%				
Heating system						
☐ Project verification		Base case	Proposed case			
Fuel type		Natural gas - m³	Natural gas - m³			
Seasonal efficiency		70%	70%			
Fuel consumption - annual	m³	437.429,7	372.900,4	m³		
Fuel rate	€/m³	0,330	0,330	€/m³		
Fuel cost	€	144.352	123.059			

RETScreen Cost Analysis - Heating project

Settings

- [x] Method 1
- [ ] Method 2
- [x] Notes/Range
- [ ] Second currency
- [ ] Cost allocation

Notes/Range: None

Initial costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount	Relative costs
Feasibility study					
Feasibility study	cost	1	€ 7.500	€ 7.500	
Sub-total:				€ 7.500	3,2%
Development					
Development	cost		€ -	€ -	
Sub-total:				€ -	0,0%
Engineering					
Engineering	cost		€ -	€ -	
Sub-total:				€ -	0,0%
Heating system					
Solar water heater				€ -	
User-defined	cost	350	€ 650	€ 227.500	
				€ -	
Sub-total:				€ 227.500	97,3%
Balance of system & miscellaneous					
Spare parts	%			€ -	
Transportation	project			€ -	
Training & commissioning	p-d			€ -	
User-defined	credit	212	€ 17	€ (3.604)	
Contingencies	%	1,0%	€ 231.396	€ 2.314	
Interest during construction		12 month(s)	€ 233.710	€ -	
Sub-total:				€ (1.290)	-0,6%
Total initial costs				€ 233.710	100,0%

Annual costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
O&M				
Parts & labour	project			€ -
User-defined	cost	32	€ 10	€ 320
Contingencies	%		€ 320	€ -
Sub total:				€ 320
Fuel cost - proposed case				
Natural gas	m³	372.906	€ 0,330	€ 123.059
Electricity	MWh	7	€ 100,000	€ 661
Sub-total:				€ 123.721

Annual savings	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
Fuel cost - base case				
Natural gas	m³	437.430	€ 0,330	€ 144.352
Sub-total:				€ 144.352

Periodic costs (credits)	Unit	Year	Unit cost	Amount
User-defined	cost	5	€ 1.000	€ 1.000
Poupança de consumo de Gás Natural	credit	1	€ 217.158	€ (217.158)
End of project life	cost			€ -

RETScreen Emission Reduction Analysis - Heating project

Emission Analysis

- [x] Method 1
- [ ] Method 2
- [ ] Method 3

Base case electricity system (Baseline)

Country - region	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
Portugal	Natural gas	0,347		0,347

- [ ] Baseline changes during project life

Base case system GHG summary (Baseline)

Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO2/MWh	GHG emission tCO2
Natural gas	100,0%	4.129	0,197	815,3
Total	100,0%	4.129	0,197	815,3

Proposed case system GHG summary (Heating project)

Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO2/MWh	GHG emission tCO2
Natural gas	89,0%	3.520	0,197	695,0
Solar	10,8%	426	0,000	0,0
Electricity	0,2%	7	0,347	2,3
Total	100,0%	3.952	0,176	697,3

GHG emission reduction summary

	Base case GHG emission tCO2	Proposed case GHG emission tCO2	Gross annual GHG emission reduction tCO2	GHG credits transaction fee %	Net annual GHG emission reduction tCO2
Heating project	815,3	697,3	118,0		118,0

Net annual GHG emission reduction	118	tCO2	is equivalent to	24,0	Cars & light trucks not used

RETScreen Financial Analysis - Heating project

Financial parameters

General		
Fuel cost escalation rate	%	5,0%
Inflation rate	%	3,0%
Discount rate	%	8,2%
Project life	yr	25
Finance		
Incentives and grants	€	0
Debt ratio	%	0,0%

Income tax analysis

Annual income

Electricity export income

GHG reduction income

Net GHG reduction	tCO2/yr	118
Net GHG reduction - 25 yrs	tCO2	2.949

Customer premium income (rebate)

Other income (cost)

Clean Energy (CE) production income

Project costs and savings/income summary

Initial costs			
Feasibility study	3,2%	€	7.500
Heating system	97,3%	€	227.500
Balance of system & misc.	-0,6%	€	-1.290
Total initial costs	**100,0%**	**€**	**233.710**
Annual costs and debt payments			
O&M		€	320
Fuel cost - proposed case		€	123.721
Total annual costs		**€**	**124.041**
Periodic costs (credits)			
User-defined - 5 yrs		€	1.000
Poupança de consumo de Gás Natural - 1 yr		€	-217.158
Annual savings and income			
Fuel cost - base case		€	144.352
Total annual savings and income		**€**	**144.352**

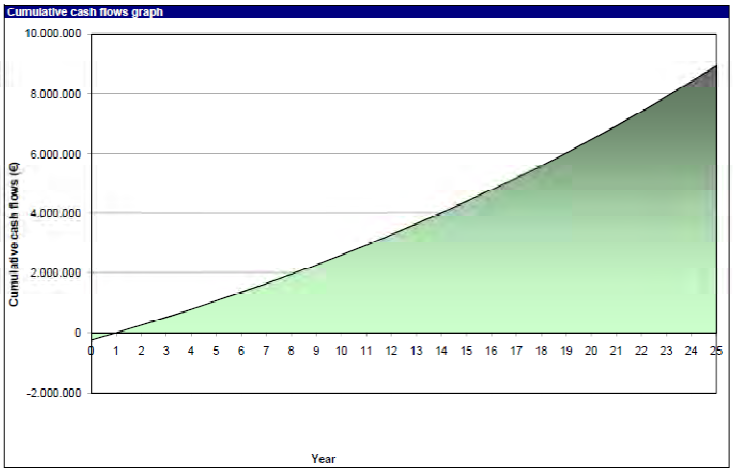
Financial viability

Pre-tax IRR - equity	%	108,0%
Pre-tax IRR - assets	%	108,0%
After-tax IRR - equity	%	108,0%
After-tax IRR - assets	%	108,0%
Simple payback	yr	11,5
Equity payback	yr	1,0
Net Present Value (NPV)	€	3.179.098
Annual life cycle savings	€/yr	301.639
Benefit-Cost (B-C) ratio		14,60
GHG reduction cost	€/tCO2	(2.557)

Yearly cash flows

Year #	Pre-tax €	After-tax €	Cumulative €
0	-233.710	-233.710	-233.710
1	245.006	245.006	11.296
2	252.789	252.789	264.086
3	260.828	260.828	524.914
4	269.131	269.131	794.044
5	276.547	276.547	1.070.591
6	286.564	286.564	1.357.155
7	295.714	295.714	1.652.868
8	305.166	305.166	1.958.034
9	314.930	314.930	2.272.964
10	323.674	323.674	2.596.639
11	335.441	335.441	2.932.080
12	346.210	346.210	3.278.290
13	357.337	357.337	3.635.627
14	368.836	368.836	4.004.463
15	379.160	379.160	4.383.622
16	392.997	392.997	4.776.619
17	405.688	405.688	5.182.307
18	418.804	418.804	5.601.111
19	432.361	432.361	6.033.472
20	444.568	444.568	6.478.040
21	460.861	460.861	6.938.901
22	475.836	475.836	7.414.737
23	491.318	491.318	7.906.055
24	507.325	507.325	8.413.380
25	521.782	521.782	8.935.162

Cumulative cash flows graph



RETScreen Sensitivity and Risk Analysis - Heating project

Sensitivity analysis

Perform analysis on	Net Present Value (NPV)	
Sensitivity range	10%	
Threshold	6,5	€

Fuel cost - base case		Initial costs				€
€		210.339	222.024	233.710	245.395	257.081
		-10%	-5%	0%	5%	10%
129.917	-10%	2.951.107	2.939.422	2.927.736	2.916.051	2.904.365
137.134	-5%	3.076.788	3.065.103	3.053.417	3.041.732	3.030.046
144.352	0%	3.076.788	3.065.103	3.053.417	3.041.732	3.030.046
151.569	5%	3.328.150	3.316.465	3.304.779	3.293.094	3.281.408
158.787	10%	3.453.831	3.442.146	3.430.460	3.418.775	3.407.089

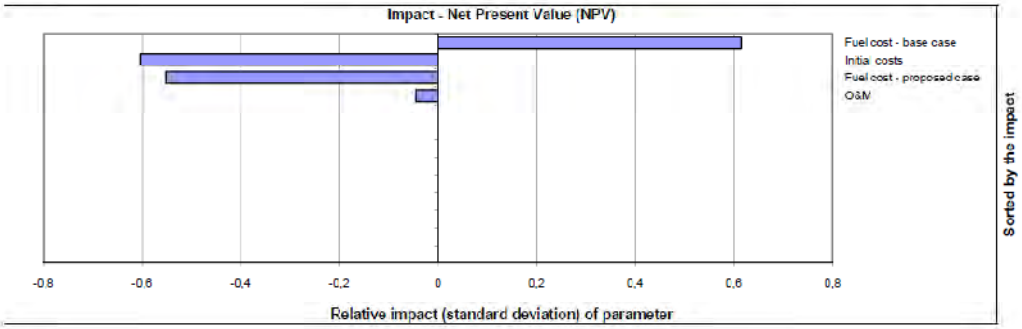
Fuel cost - proposed case		Initial costs				€
€		210.339	222.024	233.710	245.395	257.081
		-10%	-5%	0%	5%	10%
111.348	-10%	3.417.905	3.406.220	3.394.535	3.382.849	3.371.164
117.534	-5%	3.310.107	3.298.502	3.286.816	3.275.131	3.263.445
123.721	0%	3.202.469	3.190.784	3.179.098	3.167.413	3.155.727
129.907	5%	3.094.751	3.083.065	3.071.380	3.059.694	3.048.009
136.093	10%	3.094.751	3.083.065	3.071.380	3.059.694	3.048.009

Initial costs		O&M				€
€		288	304	320	336	352
		-10%	-5%	0%	5%	10%
210.339	10%	3.202.920	3.202.695	3.202.469	3.202.244	3.202.018
222.024	-5%	3.202.920	3.191.009	3.190.784	3.190.558	3.190.333
233.710	0%	3.179.549	3.179.324	3.179.098	3.178.873	3.178.647
245.395	5%	3.167.864	3.167.638	3.167.413	3.167.187	3.166.962
257.081	10%	3.156.178	3.155.953	3.155.727	3.155.502	3.155.276

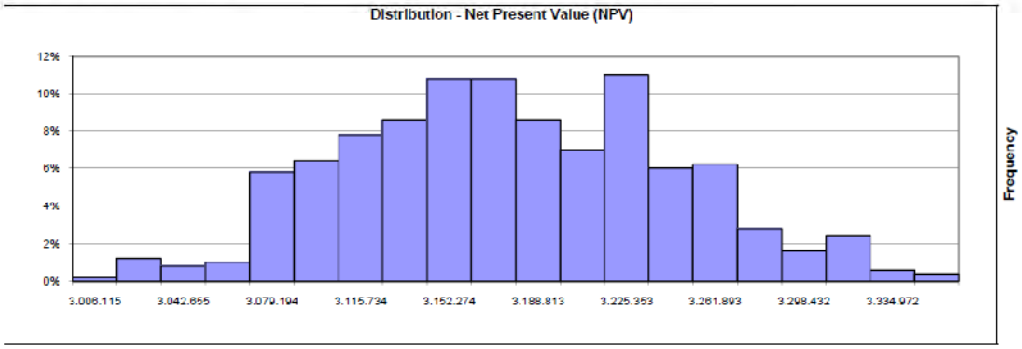
Risk analysis

Perform analysis on	Net Present Value (NPV)

Parameter	Unit	Value	Range (+/-)	Minimum	Maximum
Initial costs	€	233.710	50%	116.855	350.565
O&M	€	320	200%	-320	960
Fuel cost - proposed case	€	123.721	5%	117.534	129.907
Fuel cost - base case	€	144.352	5%	137.134	151.569
Debt term	yr	0	0%	0	0



Median	€	3.172.772
Level of risk	%	5,0%
Minimum within level of confidence	€	3.063.728
Maximum within level of confidence	€	3.314.425



RETScreen Sensitivity and Risk Analysis - Heating project

Sensitivity analysis

Perform analysis on	After-tax IRR - assets	
Sensitivity range	10%	
Threshold	6,5	%

Fuel cost - base case			Initial costs			€
		210.339	222.024	233.710	245.395	257.081
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
129.917	-10%	112,3%	106,6%	101,4%	96,7%	92,4%
137.134	-5%	116,0%	110,0%	104,7%	99,9%	95,5%
144.352	0%	119,6%	113,5%	108,0%	103,0%	98,5%
151.569	5%	123,3%	117,0%	111,3%	106,2%	101,5%
158.787	10%	127,0%	120,5%	114,6%	109,3%	104,5%

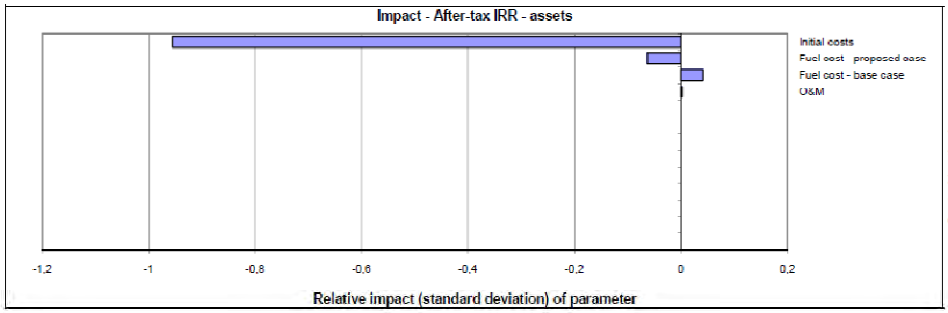
Fuel cost - proposed case			Initial costs			€
		210.339	222.024	233.710	245.395	257.081
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
111.348	-10%	125,9%	119,5%	113,7%	108,4%	103,6%
117.534	-5%	122,8%	116,5%	110,8%	105,7%	101,0%
123.721	0%	119,6%	113,5%	108,0%	103,0%	98,5%
129.907	5%	116,5%	110,5%	105,2%	100,3%	95,9%
136.093	10%	113,4%	107,6%	102,3%	97,6%	93,3%

Initial costs			O&M			€
		288	304	320	336	352
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
210.339	-10%	119,7%	119,7%	119,6%	119,6%	119,6%
222.024	5%	113,5%	113,5%	113,5%	113,5%	113,5%
233.710	0%	108,0%	108,0%	108,0%	108,0%	108,0%
245.395	5%	103,0%	103,0%	103,0%	103,0%	103,0%
257.081	10%	98,5%	98,5%	98,5%	98,5%	98,5%

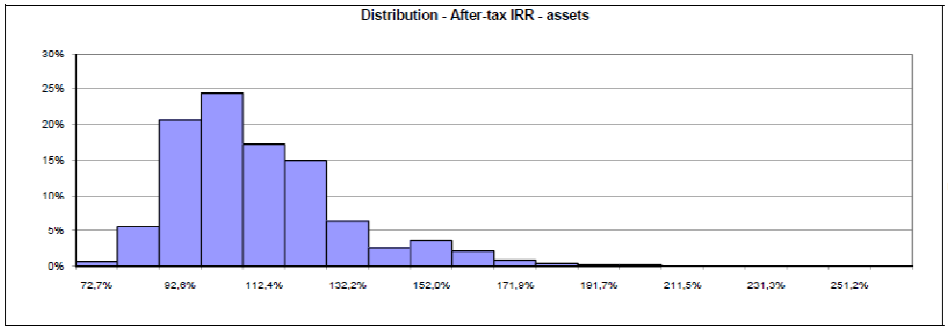
Risk analysis

Perform analysis on	After-tax IRR - assets

Parameter	Unit	Value	Range (+/-)	Minimum	Maximum
Initial costs	€	233.710	50%	116.855	350.565
O&M	€	320	200%	-320	960
Fuel cost - proposed case	€	123.721	5%	117.534	129.907
Fuel cost - base case	€	144.352	5%	137.134	151.569
Debt term	yr	0	0%	0	0



Median	%	106,8%
Level of risk	%	5,0%
Minimum within level of confidence	%	82,5%
Maximum within level of confidence	%	162,0%



Caso5

Natural Resources Canada / Ressources naturelles Canada — Canada

RETScreen® International
www.retscreen.net

Clean Energy Project Analysis Software

Project information

See project database

Project name	Caso5
Project location	Beja Portugal
Prepared for	MIEM
Prepared by	Patrícia Martins
Project type	Heating
Technology	Solar water heater
Analysis type	Method 2
Heating value reference	Lower heating value (LHV)
Show settings	☑
Language - Langue	English - Anglais
User manual	English - Anglais
Currency	Euro
Units	Metric units

Site reference conditions

Select climate data location

Climate data location	Beja (Por/Ger-AFB)
Show data	☑

	Unit	Climate data location	Project location
Latitude	°N	38,0	38,0
Longitude	°E	-7,9	-7,9
Elevation	m	247	247
Heating design temperature	°C	3,4	
Cooling design temperature	°C	35,1	
Earth temperature amplitude	°C	22,8	

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	9,1	82,0%	2,37	99,3	3,3	8,5	276	0
February	10,3	79,7%	3,20	99,2	3,4	10,2	216	8
March	12,6	72,5%	4,46	99,0	3,3	14,3	167	81
April	13,5	73,4%	5,43	98,7	3,8	17,8	135	105
May	16,7	69,6%	6,23	98,7	3,5	23,7	40	208
June	20,9	61,0%	7,36	98,8	3,4	30,2	0	327
July	23,0	55,0%	7,51	98,7	3,7	33,2	0	420
August	23,7	57,2%	6,73	98,7	3,5	31,6	0	425
September	21,6	62,2%	5,13	98,8	3,4	26,5	0	348
October	17,2	72,1%	3,41	98,9	3,3	19,6	25	223
November	13,1	81,3%	2,43	99,0	3,3	13,6	147	93
December	10,5	84,2%	1,97	99,2	3,3	10,2	233	16
Annual	16,1	70,9%	4,69	98,9	3,4	20,0	1.239	2.261
Measured at	m				10,0	0,0		

Complete Energy Model sheet

RETScreen4 2009-05-25 — © Minister of Natural Resources Canada 1997-2009. — NRCan/CanmetENERGY

RETScreen Energy Model - Heating project

Heating project

Technology		Solar water heater			
Load characteristics					
Application		☐ Swimming pool			
		☑ Hot water			
	Unit	Base case	Proposed case		
Load type		Industrial			
Daily hot water use	L/d	247,293	247,293		
Temperature	°C	40	40		
Operating days per week	d	7	7		
☐ Percent of month used					
Supply temperature method		User-defined			
Water temperature - minimum	°C	35			
Water temperature - maximum	°C	39			
	Unit	Base case	Proposed case	Energy saved	Incremental initial costs
Heating	MWh	314,7	314,7	0%	
Resource assessment					
Solar tracking mode		Fixed			
Slope	°	36,0			
Azimuth	°	0,0			
☐ **Show data**					
Solar water heater					
Type		Glazed			*See technical note*
Manufacturer		Sonnenkraft			*See product database*
Model		SK500L			
Gross area per solar collector	m²	2,57			
Aperture area per solar collector	m²	2,34			
Fr (tau alpha) coefficient		0,69			
Fr UL coefficient	(W/m²)/°C	3,59			
Temperature coefficient for Fr UL	(W/m²)/°C²	0,000			
Number of collectors		34	32		
Solar collector area	m²	87,41			
Capacity	kW	55,60			
Miscellaneous losses	%	5,0%			
Balance of system & miscellaneous					
Storage		Yes			
Storage capacity / solar collector area	L/m²	75			
Storage capacity	L	5,900,0			
Heat exchanger	yes/no	No			
Miscellaneous losses	%	5,0%			
Pump power / solar collector area	W/m²	5,00			
Electricity rate	€/kWh	0,100			
Summary					
Electricity - pump	MWh	0,9			
Heating delivered	MWh	62,2			
Solar fraction	%	20%			
Heating system					
☐ Project verification		Base case	Proposed case		
Fuel type		Natural gas m³	Natural gas m³		
Seasonal efficiency		70%	70%		
Fuel consumption - annual	m³	47,630,8	38,214,7	m³	
Fuel rate	€/m³	0,330	0,330	€/m³	
Fuel cost	€	15,718	12,611		

RETScreen Cost Analysis - Heating project

Settings

☒ Method 1	☒ Notes/Range		
☐ Method 2	☐ Second currency	Notes/Range	None
	☐ Cost allocation		

Initial costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount	Relative costs
Feasibility study					
Feasibility study	cost	1	€ 7.500	€ 7.500	
Sub-total:				€ 7.500	25,7%
Development					
Development	cost		€ -	€ -	
Sub-total:				€ -	0,0%
Engineering					
Engineering	cost		€ -	€ -	
Sub-total:				€ -	0,0%
Heating system					
Solar water heater				€ -	
User-defined	cost	34	€ 650	€ 22.100	
				€ -	
Sub-total:				€ 22.100	75,6%
Balance of system & miscellaneous					
Spare parts	%			€ -	
Transportation	project			€ -	
Training & commissioning	p-d			€ -	
User-defined	credit	39	€ 17	€ (655)	
Contingencies	%	1,0%	€ 28.946	€ 289	
Interest during construction		12 month(s)	€ 29.235	€	
Sub-total:				€ (365)	-1,2%
Total initial costs				€ 29.235	100,0%

Annual costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
O&M				
Parts & labour	project			€ -
User defined	cost	32	€ 10	€ 320
Contingencies	%		€ 320	€ -
Sub-total:				€ 320
Fuel cost - proposed case				
Natural gas	m³	38.215	€ 0,330	€ 12.611
Electricity	MWh	1	€ 100,000	€ 92
Sub-total:				€ 12.702

Annual savings	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
Fuel cost - base case				
Natural gas	m³	47.631	€ 0,330	€ 15.718
Sub-total:				€ 15.718

Periodic costs (credits)	Unit	Year	Unit cost	Amount
User-defined	cost	5	€ 1.000	€ 1.000
Poupança de Gás Natural consumido	credit	1	€ 19.644	€ (19.644)
End of project life	cost			€ -

RETScreen Emission Reduction Analysis - Heating project

Emission Analysis

☒ Method 1
☐ Method 2
☐ Method 3

Base case electricity system (Baseline)

Country - region	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
Portugal	Natural gas	0,347		0,347

☐ Baseline changes during project life

Base case system GHG summary (Baseline)

Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO2/MWh	GHG emission tCO2
Natural gas	100,0%	450	0,197	88,8
Total	100,0%	450	0,197	88,8

Proposed case system GHG summary (Heating project)

Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO2/MWh	GHG emission tCO2
Natural gas	85,1%	361	0,197	71,2
Solar	14,7%	62	0,000	0,0
Electricity	0,2%	1	0,347	0,3
Total	100,0%	424	0,169	71,5

GHG emission reduction summary

	Base case GHG emission tCO2	Proposed case GHG emission tCO2	Gross annual GHG emission reduction tCO2	GHG credits transaction fee %	Net annual GHG emission reduction tCO2
Heating project	88,8	71,5	17,2		17,2

Net annual GHG emission reduction	17,2	tCO2	is equivalent to	3,5	Cars & light trucks not used

RETScreen Financial Analysis - Heating project

Financial parameters

General		
Fuel cost escalation rate	%	5,0%
Inflation rate	%	3,0%
Discount rate	%	8,2%
Project life	yr	25
Finance		
Incentives and grants	€	0
Debt ratio	%	0,0%

Income tax analysis

Annual income

Electricity export income

GHG reduction income

Net GHG reduction	tCO2/yr	17
Net GHG reduction - 25 yrs	tCO2	431

Customer premium income (rebate)

Other income (cost)

Clean Energy (CE) production income

Project costs and savings/income summary

Initial costs			
Feasibility study	25,7%	€	7.500
Heating system	75,6%	€	22.100
Balance of system & misc.	-1,2%	€	-365
Total initial costs	**100,0%**	€	**29.235**
Annual costs and debt payments			
O&M		€	320
Fuel cost - proposed case		€	12.702
Total annual costs		€	**13.022**
Periodic costs (credits)			
User-defined - 5 yrs		€	1.000
Poupança de Gás Natural consumido - 1 yrs		€	-19.644
Annual savings and income			
Fuel cost - base case		€	15.718
Total annual savings and income		€	**15.718**

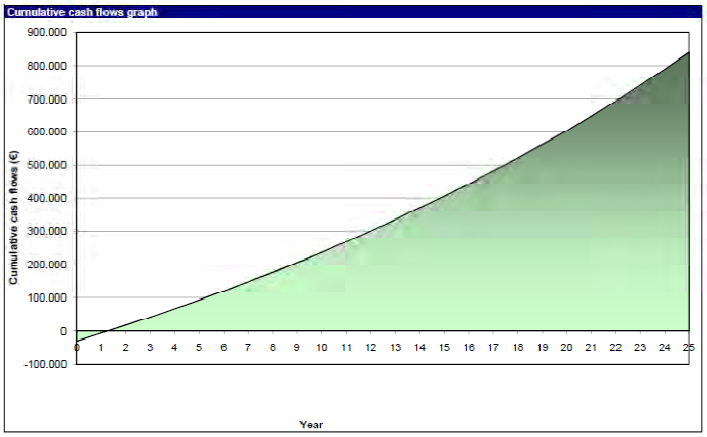
Financial viability

Pre-tax IRR - equity	%	82,0%
Pre-tax IRR - assets	%	82,0%
After-tax IRR - equity	%	82,0%
After-tax IRR - assets	%	82,0%
Simple payback	yr	10,8
Equity payback	yr	1,3
Net Present Value (NPV)	€	293.080
Annual life cycle savings	€/yr	27.808
Benefit-Cost (B-C) ratio		11,02
GHG reduction cost	€/tCO2	(1.614)

Yearly cash flows

Year	Pre-tax	After-tax	Cumulative
#	€	€	€
0	-29.235	-29.235	-29.235
1	23.070	23.070	-6.165
2	23.826	23.826	17.661
3	24.607	24.607	42.268
4	25.415	25.415	67.683
5	25.092	25.092	92.775
6	27.115	27.115	119.890
7	28.010	28.010	147.899
8	28.935	28.935	176.834
9	29.892	29.892	206.726
10	29.538	29.538	236.264
11	31.907	31.907	268.171
12	32.967	32.967	301.138
13	34.065	34.065	335.203
14	35.200	35.200	370.403
15	34.818	34.818	405.221
16	37.592	37.592	442.814
17	38.852	38.852	481.665
18	40.156	40.156	521.821
19	41.505	41.505	563.326
20	41.097	41.097	604.423
21	44.350	44.350	648.774
22	45.849	45.849	694.622
23	47.401	47.401	742.023
24	49.008	49.008	791.031
25	48.579	48.579	839.609

Cumulative cash flows graph



RETScreen Sensitivity and Risk Analysis - Heating project

Sensitivity analysis

Perform analysis on	Net Present Value (NPV)
Sensitivity range	10%
Threshold	6,5 €

Fuel cost - base case		Initial costs				€
€		26.311	27.773	29.235	30.697	32.158
		-10%	-5%	0%	5%	10%
14.146	-10%	268.633	267.171	265.710	264.248	262.786
14.932	-5%	282.318	280.856	279.395	277.933	276.471
15.718	0%	296.003	294.542	293.080	291.618	290.156
16.504	5%	309.688	308.227	306.765	305.303	303.841
17.290	10%	323.373	321.912	320.450	318.988	317.526

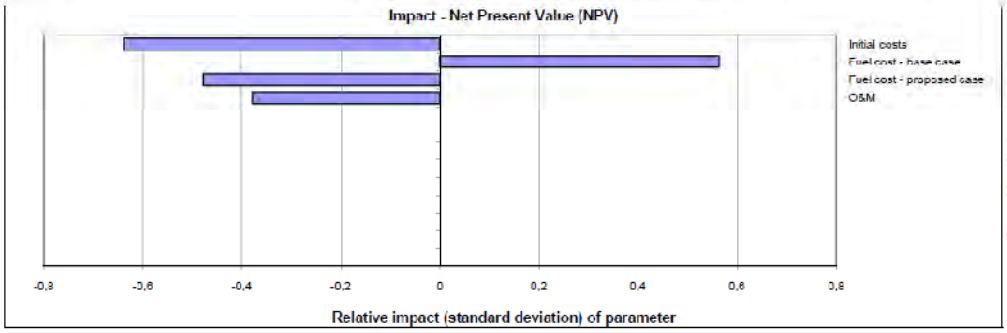
Fuel cost - proposed case		Initial costs				€
€		26.311	27.773	29.235	30.697	32.158
		-10%	-5%	0%	5%	10%
11.432	-10%	318.122	316.660	315.199	313.737	312.275
12.067	-5%	307.063	305.601	304.139	302.677	301.216
12.702	0%	296.003	294.542	293.080	291.618	290.156
13.337	5%	284.944	283.482	282.020	280.559	279.097
13.973	10%	273.884	272.423	270.961	269.499	268.038

Initial costs		O&M				€
€		288	304	320	336	352
		-10%	-5%	0%	5%	10%
26.311	-10%	296.454	296.229	296.003	295.778	295.552
27.773	-5%	294.993	294.767	294.542	294.316	294.091
29.235	0%	293.531	293.305	293.080	292.854	292.629
30.697	5%	292.069	291.844	291.618	291.393	291.167
32.158	10%	290.607	290.382	290.156	289.931	289.705

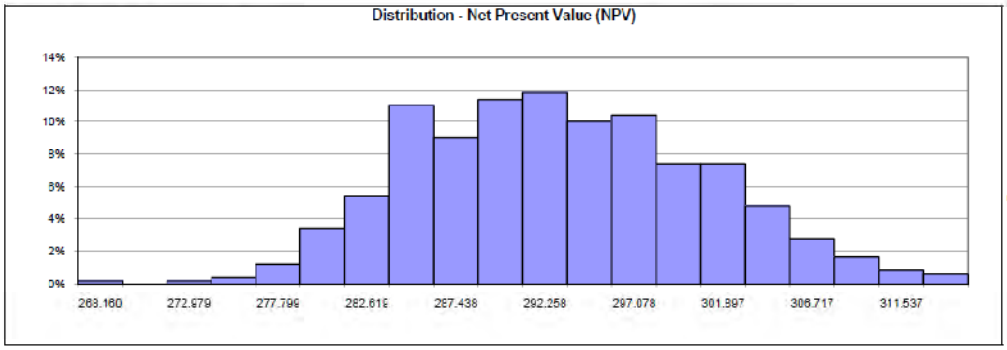
Risk analysis

Perform analysis on	Net Present Value (NPV)

Parameter	Unit	Value	Range (+/-)	Minimum	Maximum
Initial costs	€	29.235	50%	14.617	43.852
O&M	€	320	200%	-320	960
Fuel cost - proposed case	€	12.702	5%	12.067	13.337
Fuel cost - base case	€	15.718	5%	14.932	16.504
Debt term	yr	0	0%	0	0



Median	€	292.543
Level of risk	%	5,0%
Minimum within level of confidence	€	279.561
Maximum within level of confidence	€	308.548



RETScreen Sensitivity and Risk Analysis - Heating project

Sensitivity analysis

Perform analysis on	After-tax IRR - assets
Sensitivity range	10%
Threshold	6,5 %

Fuel cost - base case			Initial costs			€
		26.311	27.773	29.235	30.697	32.158
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
14.146	-10%	84,4%	80,1%	76,2%	87,8%	69,6%
14.932	-5%	87,6%	83,1%	79,1%	75,5%	72,2%
15.718	0%	90,8%	86,2%	82,0%	78,3%	74,9%
16.504	5%	94,0%	89,2%	84,9%	81,0%	77,5%
17.290	10%	97,2%	92,3%	87,8%	83,8%	80,1%

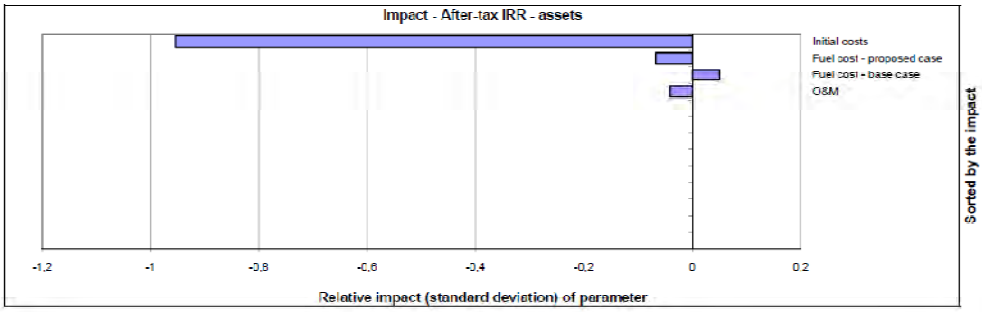
Fuel cost - proposed case			Initial costs			€
		26.311	27.773	29.235	30.697	32.158
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
11.432	-10%	96,0%	91,1%	86,7%	82,7%	79,1%
12.067	-5%	93,4%	88,6%	84,4%	80,5%	77,0%
12.702	0%	90,8%	86,2%	82,0%	78,3%	74,9%
13.337	5%	88,2%	83,7%	79,7%	76,0%	72,7%
13.973	10%	85,6%	81,3%	77,3%	76,0%	70,6%

Initial costs			O&M			€
		288	304	320	336	352
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
26.311	10%	90,9%	90,9%	90,8%	90,7%	90,7%
27.773	-5%	86,3%	86,2%	86,2%	86,1%	86,1%
29.235	0%	82,1%	82,1%	82,0%	82,0%	81,9%
30.697	5%	78,4%	78,3%	78,3%	78,2%	78,2%
32.158	10%	75,0%	74,9%	74,9%	74,8%	74,7%

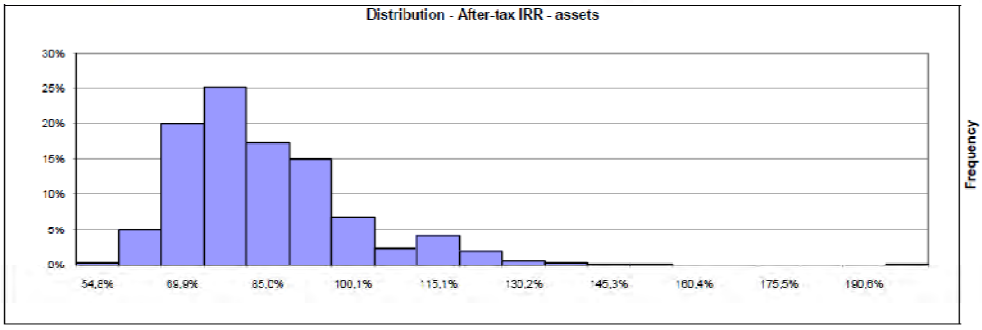
Risk analysis

Perform analysis on	After-tax IRR - assets

Parameter	Unit	Value	Range (+/-)	Minimum	Maximum
Initial costs	€	29.235	50%	14.617	43.852
O&M	€	320	200%	-320	960
Fuel cost - proposed case	€	12.702	5%	12.067	13.337
Fuel cost - base case	€	15.718	5%	14.932	16.504
Debt term	yr	0	0%	0	0



Median	%	81,1%
Level of risk	%	5,0%
Minimum within level of confidence	%	62,6%
Maximum within level of confidence	%	123,8%



Caso 6

Natural Resources Canada / Ressources naturelles Canada — Canada

RETScreen® International
www.retscreen.net

Clean Energy Project Analysis Software

Project information — See project database

Project name	Caso 6
Project location	Beja Portugal
Prepared for	MIEM
Prepared by	Patrícia Martins
Project type	Heating
Technology	Solar water heater
Analysis type	Method 2
Heating value reference	Lower heating value (LHV)
Show settings	☑
Language - Langue	English - Anglais
User manual	English - Anglais
Currency	Euro
Units	Metric units

Site reference conditions — Select climate data location

Climate data location	Beja (Por/Ger-AFB)
Show data	☑

	Unit	Climate data location	Project location
Latitude	°N	38,0	38,0
Longitude	°E	-7,9	-7,9
Elevation	m	247	247
Heating design temperature	°C	3,4	
Cooling design temperature	°C	35,1	
Earth temperature amplitude	°C	22,6	

Month	Air temperature °C	Relative humidity %	Daily solar radiation - horizontal kWh/m²/d	Atmospheric pressure kPa	Wind speed m/s	Earth temperature °C	Heating degree-days °C-d	Cooling degree-days °C-d
January	9,1	82,0%	2,37	99,3	3,3	8,5	276	0
February	10,3	79,7%	3,20	99,2	3,4	10,2	216	8
March	12,0	72,5%	4,40	99,0	3,3	14,3	107	61
April	13,5	73,4%	5,43	98,7	3,8	17,8	135	105
May	16,7	69,6%	6,23	98,7	3,5	23,7	40	208
June	20,9	61,0%	7,36	98,8	3,4	30,2	0	327
July	23,8	55,8%	7,51	98,7	3,7	33,2	0	428
August	23,7	57,2%	6,73	98,7	3,5	31,0	0	425
September	21,6	62,2%	5,13	98,8	3,4	26,5	0	348
October	17,2	72,1%	3,41	98,9	3,3	19,6	25	223
November	13,1	81,3%	2,43	99,0	3,3	13,6	147	93
December	10,5	84,2%	1,97	99,2	3,3	10,2	233	16
Annual	16,1	70,9%	4,69	98,9	3,4	20,0	1.239	2.261
Measured at (m)					10,0	0,0		

Complete Energy Model sheet

RETScreen4 2009-05-25 — © Minister of Natural Resources Canada 1997-2009. — NRCan/CanmetENERGY

RETScreen Energy Model - Heating project

Heating project

Technology		Solar water heater	
Load characteristics			
Application		☐ Swimming pool	
		☒ Hot water	

	Unit	Base case	Proposed case
Load type		Industrial	
Daily hot water use	L/d	420.851	420.851
Temperature	°C	58	58
Operating days per week	d	7	7

☐ **Percent of month used**

Supply temperature method		User-defined	
Water temperature - minimum	°C	52	
Water temperature - maximum	°C	57	

	Unit	Base case	Proposed case	Energy saved	Incremental initial costs
Heating	MWh	624,6	624,6	0%	

Resource assessment

Solar tracking mode		Fixed
Slope	°	36,0
Azimuth	°	0,0

☐ **Show data**

Solar water heater

Type		Glazed			See technical note
Manufacturer		Sonnenkraft			See product database
Model		SK500L			
Gross area per solar collector	m²	2,57			
Aperture area per solar collector	m²	2,34			
Fr (tau alpha) coefficient		0,69			
Fr UL coefficient	(W/m²)/°C	3,59			
Temperature coefficient for Fr UL	(W/m²)/°C²	0,000			
Number of collectors		65	67		
Solar collector area	m²	167,12			
Capacity	kW	106,29			
Miscellaneous losses	%	5,0%			

Balance of system & miscellaneous

Storage		Yes
Storage capacity / solar collector area	L/m²	75
Storage capacity	L	11.388,0
Heat exchanger	yes/no	No
Miscellaneous losses	%	5,0%
Pump power / solar collector area	W/m²	5,00
Electricity rate	€/kWh	0,100

Summary

Electricity - pump	MWh	1,4
Heating delivered	MWh	93,1
Solar fraction	%	15%

Heating system

☐ Project verification		Base case	Proposed case	
Fuel type		Natural gas - m³	Natural gas - m³	
Seasonal efficiency		70%	70%	
Fuel consumption - annual	m³	94.542,6	60.453,7	m³
Fuel rate	€/m³	0,330	0,330	€/m³
Fuel cost	€	31.199	26.550	

RETScreen Cost Analysis - Heating project

Settings

- [x] Method 1
- [ ] Method 2

- [x] Notes/Range
- [ ] Second currency
- [ ] Cost allocation

Notes/Range: None

Initial costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount	Relative costs
Feasibility study					
Feasibility study	cost	1	€ 7.500	€ 7.500	
Sub-total:				€ 7.500	15,1%
Development					
Development	cost		€	€	
Sub-total:				€ -	0,0%
Engineering					
Engineering	cost		€ -	€ -	
Sub-total:				€ -	0,0%
Heating system					
Solar water heater				€ -	
User-defined	cost	65	€ 650	€ 42.250	
				€ -	
Sub-total:				€ 42.250	85,2%
Balance of system & miscellaneous					
Spare parts	%			€ -	
Transportation	project			€ -	
Training & commissioning	p-d			€ -	
User-defined	credit	39	€ 17	€ (655)	
Contingencies	%	1,0%	€ 49.096	€ 491	
Interest during construction		12 month(s)	€ 49.586	€	
Sub-total:				€ (164)	-0,3%
Total initial costs				€ 49.586	100,0%

Annual costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
O&M				
Parts & labour	project			€ -
User-defined	cost	32	€ 10	€ 320
Contingencies	%		€ 320	€ -
Sub-total:				€ 320
Fuel cost - proposed case				
Natural gas	m³	80.454	€ 0,330	€ 26.550
Electricity	MWh	1	€ 100,000	€ 136
Sub-total:				€ 26.686

Annual savings	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
Fuel cost - base case				
Natural gas	m³	94.543	€ 0,330	€ 31.199
Sub-total:				€ 31.199

Periodic costs (credits)	Unit	Year	Unit cost	Amount
User-defined	cost	5	€ 1.000	€ 1.000
Poupança de consumo de Gás Natural	credit	1	€ 24.555	€ (24.555)
End of project life	cost			€ -

RETScreen Emission Reduction Analysis - Heating project

Emission Analysis

- [x] Method 1
- [ ] Method 2
- [ ] Method 3

Base case electricity system (Baseline)

Country region	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
Portugal	Natural gas	0,347		0,347

- [ ] Baseline changes during project life

Base case system GHG summary (Baseline)

Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO2/MWh	GHG emission tCO2
Natural gas	100,0%	892	0,197	176,2
Total	100,0%	892	0,197	176,2

Proposed case system GHG summary (Heating project)

Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO2/MWh	GHG emission tCO2
Natural gas	88,9%	759	0,197	150,0
Solar	10,9%	93	0,000	0,0
Electricity	0,2%	1	0,347	0,5
Total	100,0%	854	0,176	150,4

GHG emission reduction summary

	Base case GHG emission tCO2	Proposed case GHG emission tCO2	Gross annual GHG emission reduction tCO2	GHG credits transaction fee %	Net annual GHG emission reduction tCO2
Heating project	176,2	150,4	25,8		25,8

Net annual GHG emission reduction	25,8	tCO2	is equivalent to	5,2	Cars & light trucks not used

RETScreen Financial Analysis - Heating project

Financial parameters

General		
Fuel cost escalation rate	%	5,0%
Inflation rate	%	3,0%
Discount rate	%	8,2%
Project life	yr	25
Finance		
Incentives and grants	€	0
Debt ratio	%	0,0%

Income tax analysis

Annual income

Electricity export income

GHG reduction income

Net GHG reduction	tCO2/yr	26
Net GHG reduction - 25 yrs	tCO2	645

Customer premium income (rebate)

Other income (cost)

Clean Energy (CE) production income

Project costs and savings/income summary

Initial costs			
Feasibility study	15,1%	€	7.500
Heating system	85,2%	€	42.250
Balance of system & misc.	-0,3%	€	-164
Total initial costs	**100,0%**	€	**49.586**
Annual costs and debt payments			
O&M		€	320
Fuel cost - proposed case		€	26.686
Total annual costs		€	**27.006**
Periodic costs (credits)			
User-defined - 5 yrs		€	1.000
Poupança de consumo de Gás Natural - 1 yr		€	-24.555
Annual savings and income			
Fuel cost - base case		€	31.199
Total annual savings and income		€	**31.199**

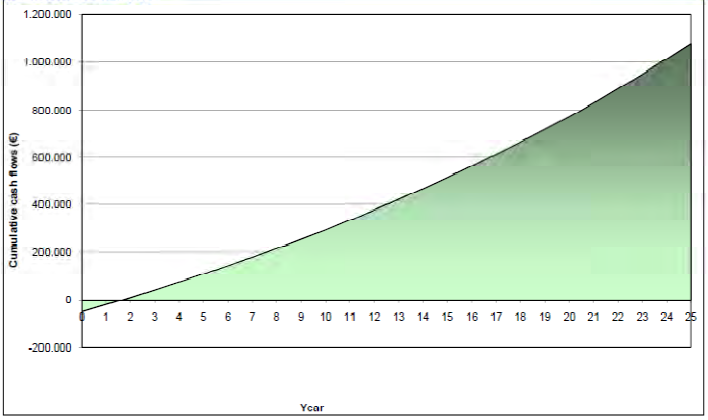
Financial viability

Pre-tax IRR - equity	%	63,1%
Pre-tax IRR - assets	%	63,1%
After-tax IRR - equity	%	63,1%
After-tax IRR - assets	%	63,1%
Simple payback	yr	11,8
Equity payback	yr	1,6
Net Present Value (NPV)	€	368.023
Annual life cycle savings	€/yr	34.919
Benefit-Cost (B-C) ratio		8,42
GHG reduction cost	€/tCO2	(1.354)

Yearly cash flows

Year #	Pre-tax €	After-tax €	Cumulative €
0	-49.586	-49.586	-49.586
1	29.701	29.701	-19.885
2	30.687	30.687	10.802
3	31.707	31.707	42.509
4	32.763	32.763	75.272
5	32.696	32.696	107.968
6	34.986	34.986	142.954
7	36.157	36.157	179.111
8	37.369	37.369	216.480
9	38.623	38.623	255.103
10	38.578	38.578	293.680
11	41.266	41.266	334.947
12	42.659	42.659	377.606
13	44.101	44.101	421.706
14	45.594	45.594	467.300
15	45.583	45.583	512.883
16	48.742	48.742	561.625
17	50.402	50.402	612.027
18	52.121	52.121	664.147
19	53.901	53.901	718.049
20	53.941	53.941	771.989
21	57.659	57.659	829.648
22	59.640	59.640	889.288
23	61.693	61.693	950.981
24	63.821	63.821	1.014.802
25	63.933	63.933	1.078.735

Cumulative cash flows graph



RETScreen Sensitivity and Risk Analysis - Heating project

Sensitivity analysis

Perform analysis on	Net Present Value (NPV)
Sensitivity range	10%
Threshold	6,5 €

Fuel cost - base case		Initial costs				€
		44.628	47.107	49.586	52.066	54.545
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
28.079	-10%	318.654	316.175	313.695	311.216	308.737
29.639	-5%	345.818	343.339	340.859	338.380	335.901
31.199	0%	372.982	370.502	368.023	365.544	363.064
32.759	5%	400.145	397.666	395.187	392.707	390.228
34.319	10%	427.309	424.830	422.350	419.871	417.392

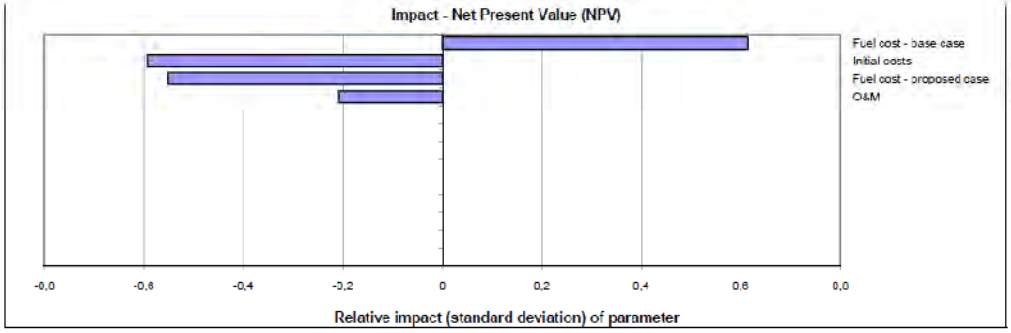
Fuel cost - proposed case		Initial costs				€
		44.628	47.107	49.586	52.066	54.545
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
24.017	-10%	419.450	416.970	414.491	412.012	409.532
25.351	-5%	396.216	393.736	391.257	388.778	386.298
26.686	0%	372.982	370.502	368.023	365.544	363.064
28.020	5%	349.748	347.268	344.789	342.310	339.830
29.354	10%	326.513	324.034	321.555	319.075	316.596

Initial costs		O&M				€
		288	304	320	336	352
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
44.628	-10%	373.433	373.207	372.982	372.756	372.531
47.107	-5%	370.953	370.728	370.502	370.277	370.051
49.586	0%	368.474	368.248	368.023	367.797	367.572
52.066	5%	365.995	365.769	365.544	365.318	365.093
54.545	10%	363.515	363.290	363.064	362.839	362.613

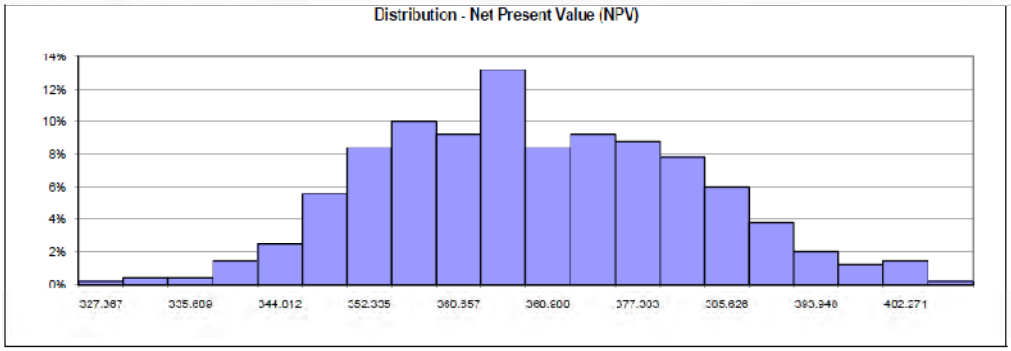
Risk analysis

Perform analysis on	Net Present Value (NPV)

Parameter	Unit	Value	Range (+/-)	Minimum	Maximum
Initial costs	€	49.586	50%	24.793	74.380
O&M	€	320	200%	-320	960
Fuel cost - proposed case	€	26.686	5%	25.351	28.020
Fuel cost - base case	€	31.199	5%	29.639	32.759
Debt term	yr	0	0%	0	0



Median	€	366.750
Level of risk	%	5,0%
Minimum within level of confidence	€	342.344
Maximum within level of confidence	€	397.194



RETScreen Sensitivity and Risk Analysis - Heating project

Sensitivity analysis

Perform analysis on	After-tax IRR - assets	
Sensitivity range	10%	
Threshold	6,5	%

			Initial costs			€
Fuel cost - base case		44.628	47.107	49.586	52.066	54.545
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
28.079	-10%	62,2%	59,1%	56,3%	53,7%	51,4%
29.639	-5%	66,0%	62,7%	59,7%	57,0%	54,5%
31.199	0%	69,7%	66,2%	63,1%	60,2%	57,6%
32.759	5%	73,5%	69,8%	66,5%	63,5%	60,7%
34.319	10%	77,3%	73,4%	69,9%	66,7%	63,8%

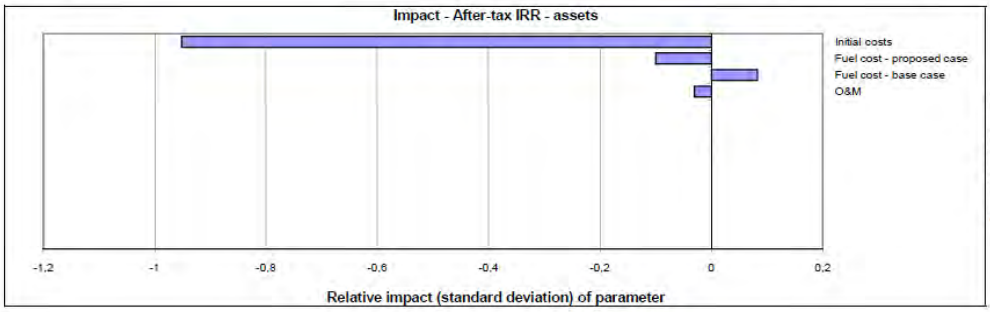
			Initial costs			€
Fuel cost - proposed case		44.628	47.107	49.586	52.066	54.545
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
24.017	-10%	76,2%	63,3%	68,9%	65,8%	62,9%
25.351	-5%	73,0%	69,3%	68,9%	63,0%	60,3%
26.686	0%	69,7%	66,2%	63,1%	63,0%	57,6%
28.020	5%	66,5%	63,2%	60,2%	57,5%	55,0%
29.354	10%	63,3%	60,1%	57,2%	54,7%	52,3%

			O&M			€
Initial costs		288	304	320	336	352
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
44.628	-10%	69,8%	69,8%	69,7%	69,7%	69,7%
47.107	-5%	66,3%	66,3%	66,2%	66,2%	66,2%
49.586	0%	66,3%	63,1%	63,1%	63,1%	63,0%
52.066	5%	60,3%	63,1%	60,2%	60,2%	60,2%
54.545	10%	57,7%	57,7%	60,2%	57,6%	57,6%

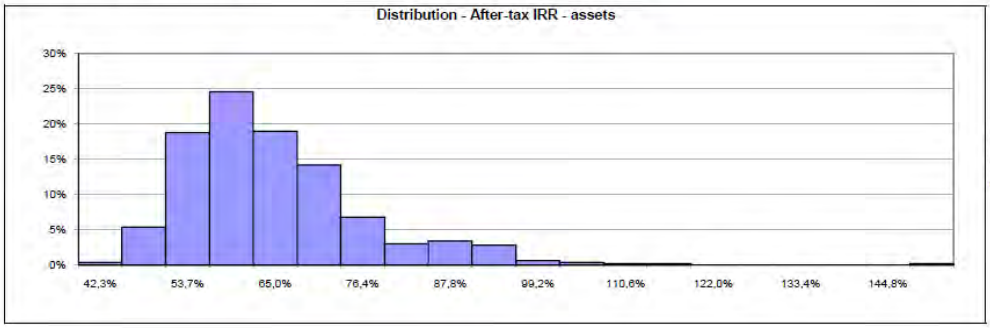
Risk analysis

Perform analysis on: After-tax IRR - assets

Parameter	Unit	Value	Range (+/-)	Minimum	Maximum
Initial costs	€	49.586	50%	24.793	74.380
O&M	€	320	200%	-320	960
Fuel cost - proposed case	€	26.686	5%	25.351	28.020
Fuel cost - base case	€	31.199	5%	29.639	32.759
Debt term	yr	0	0%	0	0



Median	%	62,4%
Level of risk	%	5,0%
Minimum within level of confidence	%	48,3%
Maximum within level of confidence	%	94,4%



Caso 7

Natural Resources Canada / Ressources naturelles Canada — Canada

RETScreen® International
www.retscreen.net

Clean Energy Project Analysis Software

Project information

See project database

Project name	Caso7
Project location	Guarda - Portugal
Prepared for	MIEM
Prepared by	Patrícia Martins
Project type	Heating
Technology	Solar water heater
Analysis type	Method 2
Heating value reference	Lower heating value (LHV)
Show settings	☑
Language - Langue	English - Anglais
User manual	English - Anglais
Currency	Euro
Units	Metric units

Site reference conditions

Select climate data location

Climate data location	Guarda
Show data	☑

	Unit	Climate data location	Project location
Latitude	°N	40,6	40,6
Longitude	°E	-7,3	-7,3
Elevation	m	474	474
Heating design temperature	°C	1,4	
Cooling design temperature	°C	28,9	
Earth temperature amplitude	°C	20,7	

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	6,8	77,0%	1,99	96,7	4,1	6,0	347	0
February	7,8	73,2%	2,83	96,6	4,3	7,5	287	0
March	10,6	61,5%	4,06	96,4	4,2	11,4	230	18
April	12,3	58,5%	4,90	96,0	4,0	14,3	171	69
May	16,2	52,2%	5,88	96,1	3,7	19,7	55	193
June	21,1	43,2%	7,06	96,2	3,3	25,7	0	334
July	23,7	40,0%	7,23	96,2	3,4	28,6	0	425
August	23,0	44,3%	6,40	96,2	3,3	27,0	0	402
September	20,1	51,9%	4,77	96,3	3,2	22,5	0	302
October	15,4	64,6%	3,01	96,3	3,4	16,0	81	167
November	10,8	73,7%	2,08	96,3	3,7	10,4	215	25
December	8,3	77,2%	1,67	96,5	4,1	7,4	302	0
Annual	14,7	59,7%	4,33	96,3	3,7	16,4	1.686	1.936
Measured at (m)					10,0	0,0		

Complete Energy Model sheet

RETScreen4 2009-05-25 — © Minister of Natural Resources Canada 1997-2009. — NRCan/CanmetENERGY

RETScreen Energy Model - Heating project

Heating project

Technology		Solar water heater			
Load characteristics					
Application		☐ Swimming pool			
		☑ Hot water			
	Unit	Base case	Proposed case		
Load type		Industrial			
Daily hot water use	L/d	251.944	251.944		
Temperature	°C	40	40		
Operating days per week	d	7	7		
☐ **Percent of month used**					
Supply temperature method		User-defined			
Water temperature - minimum	°C	35			
Water temperature - maximum	°C	39			
	Unit	Base case	Proposed case	Energy saved	Incremental initial costs
Heating	MWh	320,6	320,6	0%	
Resource assessment					
Solar tracking mode		Fixed			
Slope	°	36,0			
Azimuth	°	0,0			
☐ **Show data**					
Solar water heater					
Type		Glazed			See technical note
Manufacturer		Sonnenkraft			See product database
Model		SK500L			
Gross area per solar collector	m²	2,57			
Aperture area per solar collector	m²	2,34			
Fr (tau alpha) coefficient		0,69			
Fr UL coefficient	(W/m²)/°C	3,59			
Temperature coefficient for Fr UL	(W/m²)/°C²	0,000			
Number of collectors		45	34		
Solar collector area	m²	115,70			
Capacity	kW	73,58			
Miscellaneous losses	%	5,0%			
Balance of system & miscellaneous					
Storage		Yes			
Storage capacity / solar collector area	L/m²	75			
Storage capacity	L	7.884,0			
Heat exchanger	yes/no	No			
Miscellaneous losses	%	5,0%			
Pump power / solar collector area	W/m²	5,00			
Electricity rate	€/kWh	0,100			
Summary					
Electricity - pump	MWh	1,1			
Heating delivered	MWh	70,9			
Solar fraction	%	22%			
Heating system					
☐ Project verification		Base case	Proposed case		
Fuel type		Natural gas - m³	Natural gas - m³		
Seasonal efficiency		70%	70%		
Fuel consumption - annual	m³	48.526,5	37.802,3	m³	
Fuel rate	€/m³	0,330	0,330	€/m³	
Fuel cost	€	16.014	12.475		

RETScreen Cost Analysis - Heating project

Settings			
☑ Method 1	☑ Notes/Range		
☐ Method 2	☐ Second currency	Notes/Range	None
	☐ Cost allocation		

Initial costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount	Relative costs
Feasibility study					
Feasibility study	cost	1	€ 7.500	€ 7.500	
Sub-total:				€ 7.500	20,6%
Development					
Development	cost		€ -	€ -	
Sub-total:				€ -	0,0%
Engineering					
Engineering	cost		€ -	€ -	
Sub-total:				€ -	0,0%
Heating system					
Solar water heater				€ -	
User-defined	cost	45	€ 650	€ 29.250	
				€ -	
Sub-total:				€ 29.250	80,2%
Balance of system & miscellaneous					
Spare parts	%			€ -	
Transportation	project			€ -	
Training & commissioning	p-d			€ -	
User defined	credit	39	€ 17	€ (655)	
Contingencies	%	1,0%	€ 36.096	€ 361	
Interest during construction		12 month(s)	€ 36.456	€ -	
Sub-total:				€ (294)	-0,8%
Total initial costs				€ 36.456	100,0%

Annual costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
O&M				
Parts & labour	project			€ -
User-defined	cost	32	€ 10	€ 320
Contingencies	%		€ 320	€ -
Sub-total:				€ 320
Fuel cost - proposed case				
Natural gas	m³	37.802	€ 0,330	€ 12.475
Electricity	MWh	1	€ 100,000	€ 112
Sub-total:				€ 12.586

Annual savings	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
Fuel cost - base case				
Natural gas	m³	48.526	€ 0,330	€ 16.014
Sub-total:				€ 16.014

Periodic costs (credits)	Unit	Year	Unit cost	Amount
User-defined	cost	5	€ 1.000	€ 1.000
Poupança de Gás Natural consumido	credit	1	€ 19.644	€ (19.644)
End of project life	cost			€ -

RETScreen Emission Reduction Analysis - Heating project

Emission Analysis

☑ Method 1
☐ Method 2
☐ Method 3

Base case electricity system (Baseline)

Country - region	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
Portugal	Natural gas	0,347		0,347

☐ Baseline changes during project life

Base case system GHG summary (Baseline)

Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO2/MWh	GHG emission tCO2
Natural gas	100,0%	458	0,197	90,4
Total	100,0%	458	0,197	90,4

Proposed case system GHG summary (Heating project)

Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO2/MWh	GHG emission tCO2
Natural gas	83,2%	357	0,197	70,5
Solar	16,5%	71	0,000	0,0
Electricity	0,3%	1	0,347	0,4
Total	100,0%	429	0,165	70,8

GHG emission reduction summary

	Base case GHG emission tCO2	Proposed case GHG emission tCO2	Gross annual GHG emission reduction tCO2	GHG credits transaction fee %	Net annual GHG emission reduction tCO2
Heating project	90,4	70,8	19,6		19,6

Net annual GHG emission reduction	19,6	tCO2	is equivalent to	4,0	Cars & light trucks not used

RETScreen Financial Analysis - Heating project

Financial parameters

General		
Fuel cost escalation rate	%	5,0%
Inflation rate	%	3,0%
Discount rate	%	8,2%
Project life	yr	25
Finance		
Incentives and grants	€	0
Debt ratio	%	0,0%

Income tax analysis

Annual income

Electricity export income

GHG reduction income

Net GHG reduction	tCO2/yr	20
Net GHG reduction - 25 yrs	tCO2	490

Customer premium income (rebate)

Other income (cost)

Clean Energy (CE) production income

Project costs and savings/income summary

Initial costs			
Feasibility study	20,6%	€	7.500
Heating system	80,2%	€	29.250
Balance of system & misc.	-0,8%	€	-294
Total initial costs	**100,0%**	€	**36.456**
Annual costs and debt payments			
O&M		€	320
Fuel cost - proposed case		€	12.586
Total annual costs		€	**12.906**
Periodic costs (credits)			
User-defined - 5 yrs		€	1.000
Poupança de Gás Natural consumido - 1 yrs		€	-19.644
Annual savings and income			
Fuel cost - base case		€	16.014
Total annual savings and income		€	**16.014**

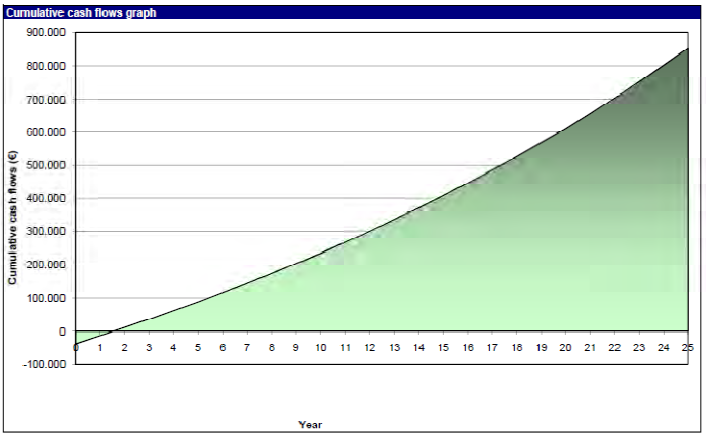
Financial viability

Pre-tax IRR - equity	%	67,6%
Pre-tax IRR - assets	%	67,6%
After-tax IRR - equity	%	67,6%
After-tax IRR - assets	%	67,6%
Simple payback	yr	11,7
Equity payback	yr	1,5
Net Present Value (NPV)	€	293.026
Annual life cycle savings	€/yr	27.803
Benefit-Cost (B-C) ratio		9,04
GHG reduction cost	€/tCO2	(1.418)

Yearly cash flows

Year	Pre-tax	After-tax	Cumulative
#	€	€	€
0	-36.456	-36.456	-36.456
1	23.502	23.502	-12.954
2	24.280	24.280	11.326
3	25.084	25.084	36.409
4	25.915	25.915	62.324
5	25.617	25.617	87.941
6	27.667	27.667	115.608
7	28.589	28.589	144.197
8	29.543	29.543	173.740
9	30.530	30.530	204.270
10	30.209	30.209	234.479
11	32.611	32.611	267.090
12	33.707	33.707	300.797
13	34.841	34.841	335.638
14	36.015	36.015	371.653
15	35.674	35.674	407.326
16	38.491	38.491	445.817
17	39.795	39.795	485.613
18	41.146	41.146	526.759
19	42.546	42.546	569.304
20	42.189	42.189	611.494
21	45.497	45.497	656.991
22	47.053	47.053	704.043
23	48.665	48.665	752.708
24	50.335	50.335	803.044
25	49.973	49.973	853.017

Cumulative cash flows graph



RETScreen Sensitivity and Risk Analysis - Heating project

Sensitivity analysis

Perform analysis on	Net Present Value (NPV)
Sensitivity range	10%
Threshold	6,5 €

Fuel cost - base case		Initial costs				€
€		32.811	34.634	36.456	38.279	40.102
		-10%	-5%	0%	5%	10%
14.412	-10%	268.787	266.964	265.141	263.318	261.496
15.213	-5%	282.729	280.907	279.084	277.261	275.438
16.014	0%	296.672	294.849	**293.026**	291.203	289.381
16.814	5%	310.614	308.791	306.969	305.146	303.323
17.615	10%	324.557	322.734	320.911	319.088	317.265

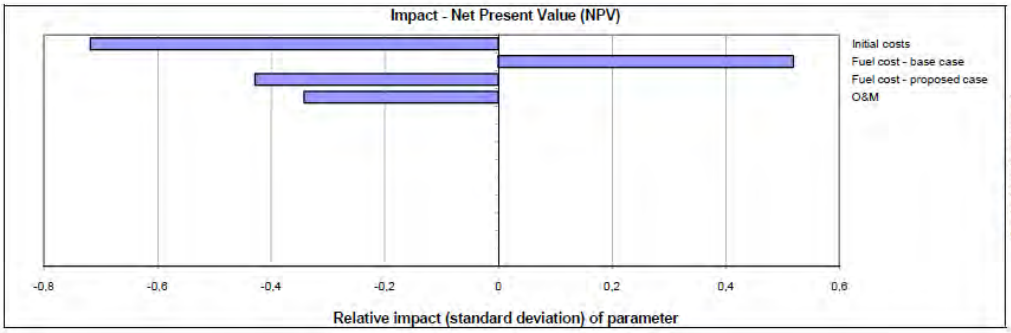
Fuel cost - proposed case		Initial costs				€
€		32.811	34.634	36.456	38.279	40.102
		-10%	-5%	0%	5%	10%
11.328	-10%	318.589	316.766	314.943	313.120	311.297
11.957	-5%	307.630	305.807	303.985	302.162	300.339
12.586	0%	296.672	294.849	**293.026**	291.203	289.381
13.216	5%	285.713	283.891	282.068	280.245	278.422
13.845	10%	274.755	272.932	271.109	269.287	267.464

Initial costs		O&M				€
€		288	304	320	336	352
		-10%	-5%	0%	5%	10%
32.811	-10%	297.123	296.897	296.672	296.446	296.221
34.634	-5%	295.300	295.074	294.849	294.623	294.398
36.456	0%	293.477	293.252	**293.026**	292.801	292.575
38.279	5%	291.654	291.429	291.203	290.978	290.752
40.102	10%	289.832	289.606	289.381	289.155	288.930

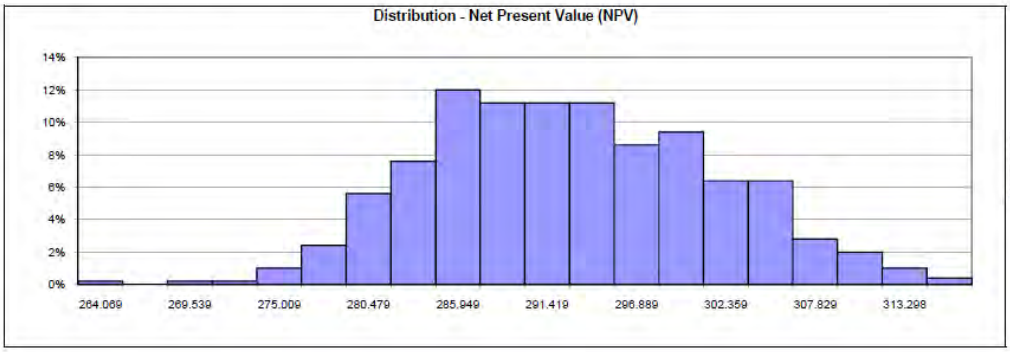
Risk analysis

Perform analysis on: Net Present Value (NPV)

Parameter	Unit	Value	Range (+/-)	Minimum	Maximum
Initial costs	€	36.456	50%	18.228	54.685
O&M	€	320	200%	-320	960
Fuel cost - proposed case	€	12.586	5%	11.957	13.216
Fuel cost - base case	€	16.014	5%	15.213	16.814
Debt term	yr	0	0%	0	0



Median	€	292.407
Level of risk	%	5,0%
Minimum within level of confidence	€	277.768
Maximum within level of confidence	€	309.986



RETScreen Sensitivity and Risk Analysis - Heating project

Sensitivity analysis

Perform analysis on	After-tax IRR - assets	
Sensitivity range	10%	
Threshold	6,5	%

			Initial costs			€
Fuel cost - base case		32.811	34.634	36.456	38.279	40.102
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
14.412	-10%	69,5%	66,0%	62,9%	60,0%	57,4%
15.213	-5%	72,1%	68,5%	65,2%	62,3%	59,6%
16.014	0%	74,8%	71,0%	67,6%	64,5%	61,8%
16.814	5%	77,4%	73,5%	70,0%	66,8%	63,9%
17.615	10%	80,0%	76,0%	72,4%	69,1%	66,1%

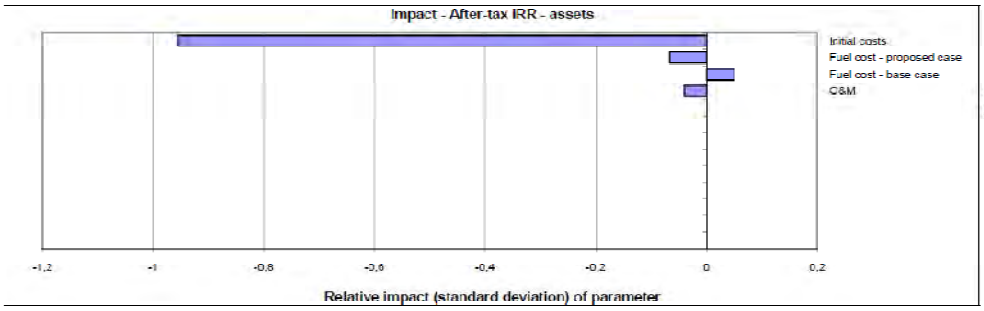
			Initial costs			€
Fuel cost - proposed case		32.811	34.634	36.456	38.279	40.102
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
11.328	10%	78,9%	74,9%	71,3%	68,1%	65,1%
11.957	-5%	76,8%	73,0%	69,5%	66,3%	63,5%
12.586	0%	74,8%	71,0%	67,6%	64,5%	61,8%
13.216	5%	72,7%	69,0%	65,7%	62,8%	60,0%
13.845	10%	70,6%	67,1%	63,9%	61,0%	58,3%

			O&M			€
Inital costs		288	304	320	336	352
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
32.811	-10%	74,9%	74,8%	74,8%	74,7%	74,7%
34.634	-5%	71,1%	71,1%	71,0%	71,0%	70,9%
36.456	0%	67,7%	67,7%	67,6%	67,6%	67,5%
38.279	5%	64,6%	64,6%	64,5%	64,5%	64,5%
40.102	10%	61,8%	61,8%	61,8%	61,7%	61,7%

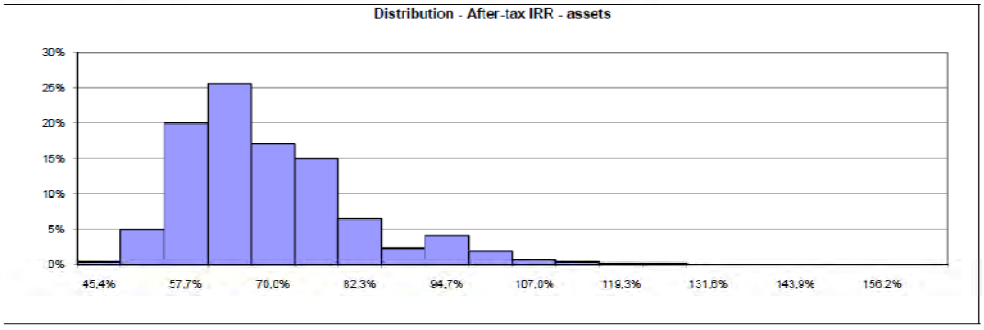
Risk analysis

Perform analysis on	After-tax IRR - assets

Parameter	Unit	Value	Range (+/-)	Minimum	Maximum
Inital costs	€	36.456	50%	18.228	54.685
O&M	€	320	200%	-320	960
Fuel cost - proposed case	€	12.586	5%	11.957	13.216
Fuel cost - base case	€	16.014	5%	15.213	16.814
Debt term	yr	0	0%	0	0



Median	%	66,8%
Level of risk	%	5,0%
Minimum within level of confidence	%	51,9%
Maximum within level of confidence	%	101,7%



Caso 8

Natural Resources Canada / Ressources naturelles Canada — Canada

RETScreen® International
www.retscreen.net

Clean Energy Project Analysis Software

Project information — *See project database*

Project name	Caso 8
Project location	Guarda - Portugal
Prepared for	MIEM
Prepared by	Patrícia Martins
Project type	Heating
Technology	Solar water heater
Analysis type	Method 2
Heating value reference	Lower heating value (LHV)
Show settings	☑
Language - Langue	English - Anglais
User manual	English - Anglais
Currency	Euro
Units	Metric units

Site reference conditions — *Select climate data location*

Climate data location	Guarda
Show data	☑

	Unit	Climate data location	Project location
Latitude	°N	40,6	40,6
Longitude	°E	-7,3	-7,3
Elevation	m	474	474
Heating design temperature	°C	1,4	
Cooling design temperature	°C	28,9	
Earth temperature amplitude	°C	20,7	

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	6,8	77,0%	1,99	96,7	4,1	6,0	347	0
February	7,8	73,2%	2,83	96,6	4,3	7,5	287	0
March	10,6	61,5%	4,06	96,4	4,2	11,4	230	18
April	12,3	58,5%	4,90	96,0	4,0	14,3	171	69
May	16,2	52,2%	5,88	96,1	3,7	19,7	55	193
June	21,1	43,2%	7,06	96,2	3,3	25,7	0	334
July	23,7	40,0%	7,23	96,2	3,4	28,6	0	425
August	23,0	44,3%	6,40	96,2	3,3	27,0	0	402
September	20,1	51,9%	4,77	96,3	3,2	22,5	0	302
October	15,4	64,6%	3,01	96,3	3,4	16,0	81	167
November	10,8	73,7%	2,08	96,3	3,7	10,4	215	25
December	8,3	77,2%	1,67	96,5	4,1	7,4	302	0
Annual	14,7	59,7%	4,33	96,3	3,7	16,4	1.686	1.936
Measured at (m)					10,0	0,0		

Complete Energy Model sheet

RETScreen4 2009-05-25 — © Minister of Natural Resources Canada 1997-2009. — NRCan/CanmetENERGY

RETScreen Energy Model - Heating project

Heating project

Technology		Solar water heater			
Load characteristics					
Application		☐ Swimming pool ☒ Hot water			
	Unit	Base case	Proposed case		
Load type		Industrial			
Daily hot water use	L/d	425.503	425.503		
Temperature	°C	58	58		
Operating days per week	d	7	7		
☐ Percent of month used					
Supply temperature method		User-defined			
Water temperature - minimum	°C	52			
Water temperature - maximum	°C	57			
	Unit	Base case	Proposed case	Energy saved	Incremental initial costs
Heating	MWh	631,5	631,5	0%	
Resource assessment					
Solar tracking mode		Fixed			
Slope	°	36,0			
Azimuth	°	0,0			
☐ Show data					
Solar water heater					
Type		Glazed			See technical note
Manufacturer		Sonnenkraft			See product database
Model		SK500L			
Gross area per solar collector	m²	2,57			
Aperture area per solar collector	m²	2,34			
Fr (tau alpha) coefficient		0,69			
Fr UL coefficient	(W/m²)/°C	3,59			
Temperature coefficient for Fr UL	(W/m²)/°C²	0,000			
Number of collectors		65	71		
Solar collector area	m²	167,12			
Capacity	kW	106,29			
Miscellaneous losses	%	5,0%			
Balance of system & miscellaneous					
Storage		Yes			
Storage capacity / solar collector area	L/m²	75			
Storage capacity	L	11.366,0			
Heat exchanger	yes/no	No			
Miscellaneous losses	%	5,0%			
Pump power / solar collector area	W/m²	5,00			
Electricity rate	€/kWh	0,100			
Summary					
Electricity - pump	MWh	1,3			
Heating delivered	MWh	81,3			
Solar fraction	%	13%			
Heating system					
☐ Project verification		Base case	Proposed case		
Fuel type		Natural gas - m³	Natural gas - m³		
Seasonal efficiency		70%	70%		
Fuel consumption - annual	m³	95.587,8	83.282,1	m³	
Fuel rate	€/m³	0,330	0,330	€/m³	
Fuel cost	€	31.544	27.483		

RETScreen Cost Analysis - Heating project

Settings

☐ Method 1	☐ Notes/Range		
☐ Method 2	☐ Second currency	Notes/Range	None
	☐ Cost allocation		

Initial costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount	Relative costs
Feasibility study					
Feasibility study	cost	1	€ 7.500	€ 7.500	
Sub-total:				€ 7.500	15,1%
Development					
Development	cost		€ -	€ -	
Sub-total:				€ -	0,0%
Engineering					
Engineering	cost		€ -	€ -	
Sub-total:				€ -	0,0%
Heating system					
Solar water heater				€ -	
User-defined	cost	65	€ 650	€ 42.250	
				€ -	
Sub-total:				€ 42.250	85,2%
Balance of system & miscellaneous					
Spare parts	%			€ -	
Transportation	project			€ -	
Training & commissioning	p-d			€ -	
User-defined	credit	39	€ 17	€ (655)	
Contingencies	%	1,0%	€ 49.096	€ 491	
Interest during construction		12 month(s)	€ 49.586	€ -	
Sub-total:				€ (164)	-0,3%
Total initial costs				€ 49.586	100,0%

Annual costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
O&M				
Parts & labour	project			€ -
User-defined	cost	32	€ 10	€ 320
Contingencies	%		€ 320	€ -
Sub-total:				€ 320
Fuel cost - proposed case				
Natural gas	m³	83.202	€ 0,330	€ 27.483
Electricity	MWh	1	€ 100,000	€ 126
Sub-total:				€ 27.609

Annual savings	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
Fuel cost - base case				
Natural gas	m³	95.588	€ 0,330	€ 31.544
Sub-total:				€ 31.544

Periodic costs (credits)	Unit	Year	Unit cost	Amount
User-defined	cost	5	€ 1.000	€ 1.000
Poupança no consumo de Gás Natural	credit	1	€ 24.555	€ (24.555)
End of project life	cost			€ -

RETScreen Emission Reduction Analysis - Heating project

Emission Analysis

☐ Method 1
☐ Method 2
☐ Method 3

Base case electricity system (Baseline)

Country - region	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
Portugal	Natural gas	0,347		0,347

☐ Baseline changes during project life

Base case system GHG summary (Baseline)

Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO2/MWh	GHG emission tCO2
Natural gas	100,0%	902	0,197	178,2
Total	100,0%	902	0,197	178,2

Proposed case system GHG summary (Heating project)

Fuel type	Fuel mix %	Fuel consumption MWh	GHG emission factor tCO2/MWh	GHG emission tCO2
Natural gas	90,5%	786	0,197	155,2
Solar	9,4%	81	0,000	0,0
Electricity	0,1%	1	0,347	0,4
Total	100,0%	869	0,179	155,7

GHG emission reduction summary

	Base case GHG emission tCO2	Proposed case GHG emission tCO2			Gross annual GHG emission reduction tCO2	GHG credits transaction fee %	Net annual GHG emission reduction tCO2
Heating project	178,2	155,7			22,5		22,5
Net annual GHG emission reduction	22,5	tCO2	is equivalent to	4,6	Cars & light trucks not used		

RETScreen Financial Analysis - Heating project

Financial parameters

General		
Fuel cost escalation rate	%	5,0%
Inflation rate	%	3,0%
Discount rate	%	8,2%
Project life	yr	25
Finance		
Incentives and grants	€	0
Debt ratio	%	0,0%

Income tax analysis

Annual income

Electricity export income

GHG reduction income

Net GHG reduction	tCO2/yr	22
Net GHG reduction - 25 yrs	tCO2	562

Customer premium income (rebate)

Other income (cost)

Clean Energy (CE) production income

Project costs and savings/income summary

Initial costs			
Feasibility study	15,1%	€	7.500
Heating system	85,2%	€	42.250
Balance of system & misc.	-0,3%	€	-164
Total initial costs	**100,0%**	**€**	**49.586**
Annual costs and debt payments			
O&M		€	320
Fuel cost - proposed case		€	27.609
Total annual costs		**€**	**27.929**
Periodic costs (credits)			
User-defined - 5 yrs		€	1.000
Poupança no consumo de Gás Natural - 1 yr		€	-24.555
Annual savings and income			
Fuel cost - base case		€	31.544
Total annual savings and income		**€**	**31.544**

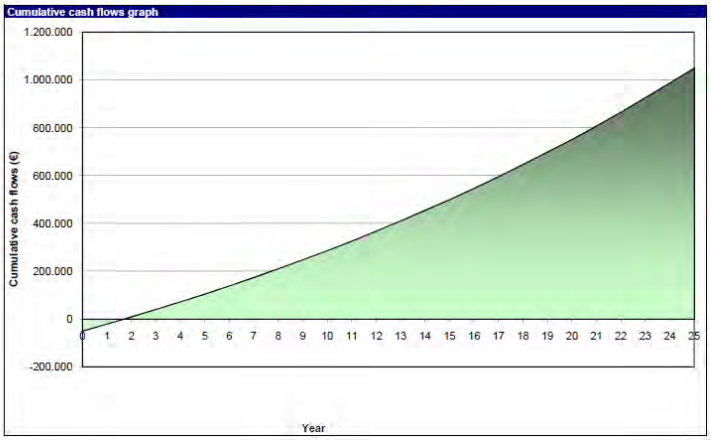
Financial viability

Pre-tax IRR - equity	%	61,8%
Pre-tax IRR - assets	%	61,8%
After-tax IRR - equity	%	61,8%
After-tax IRR - assets	%	61,8%
Simple payback	yr	13,7
Equity payback	yr	1,7
Net Present Value (NPV)	€	357.951
Annual life cycle savings	€/yr	33.963
Benefit-Cost (B-C) ratio		8,22
GHG reduction cost	€/tCO2	(1.510)

Yearly cash flows

Year #	Pre-tax €	After-tax €	Cumulative €
0	-49.586	-49.586	-49.586
1	29.094	29.094	-20.493
2	30.049	30.049	9.557
3	31.038	31.038	40.594
4	32.060	32.060	72.654
5	31.958	31.958	104.612
6	34.211	34.211	138.823
7	35.343	35.343	174.166
8	36.514	36.514	210.680
9	37.726	37.726	248.406
10	37.636	37.636	286.041
11	40.277	40.277	326.318
12	41.620	41.620	367.938
13	43.010	43.010	410.948
14	44.449	44.449	455.397
15	44.380	44.380	499.777
16	47.480	47.480	547.257
17	49.076	49.076	596.333
18	50.729	50.729	647.061
19	52.440	52.440	699.501
20	52.406	52.406	751.907
21	56.047	56.047	807.954
22	57.948	57.948	865.902
23	59.916	59.916	925.818
24	61.956	61.956	987.774
25	61.974	61.974	1.049.748

Cumulative cash flows graph



RETScreen Sensitivity and Risk Analysis - Heating project

Sensitivity analysis

Perform analysis on	Net Present Value (NPV)
Sensitivity range	10%
Threshold	6,5 €

Fuel cost - base case		44.628	Initial costs 47.107	49.586	52.066	€ 54.545
€		10%	5%	0%	5%	10%
28.390	-10%	307.981	305.502	303.023	300.543	298.064
29.967	-5%	335.445	332.966	330.487	328.007	325.528
31.544	0%	362.909	360.430	357.951	355.471	352.992
33.121	5%	390.373	387.894	385.415	382.935	380.456
34.698	10%	417.837	415.358	412.879	410.399	407.920

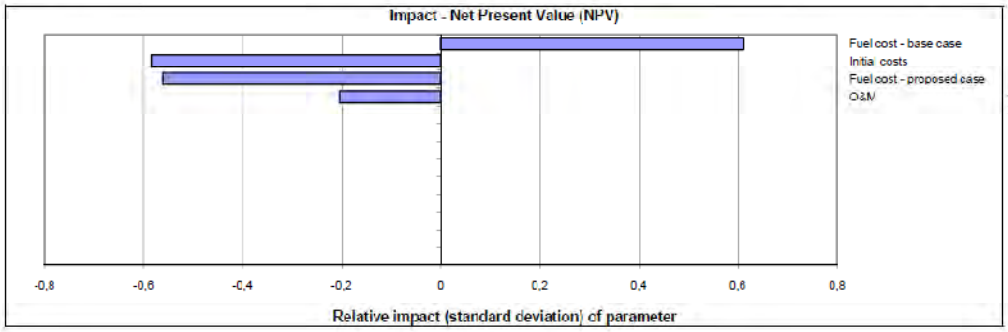
Fuel cost - proposed case		44.628	Initial costs 47.107	49.586	52.066	€ 54.545
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
24.848	-10%	410.985	408.506	406.027	403.547	401.068
26.229	-5%	386.947	384.468	381.989	379.509	377.030
27.609	0%	362.909	360.430	357.951	355.471	352.992
28.989	5%	338.871	336.392	333.913	331.433	328.954
30.370	10%	314.834	312.354	309.875	307.396	304.916

Initial costs		288	O&M 304	320	336	€ 352
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
44.628	-10%	363.360	363.135	362.909	362.684	362.458
47.107	-5%	360.881	360.656	360.430	360.205	359.979
49.586	0%	358.402	358.176	357.951	357.725	357.500
52.066	5%	355.922	355.697	355.471	355.246	355.020
54.545	10%	353.443	353.218	352.992	352.767	352.541

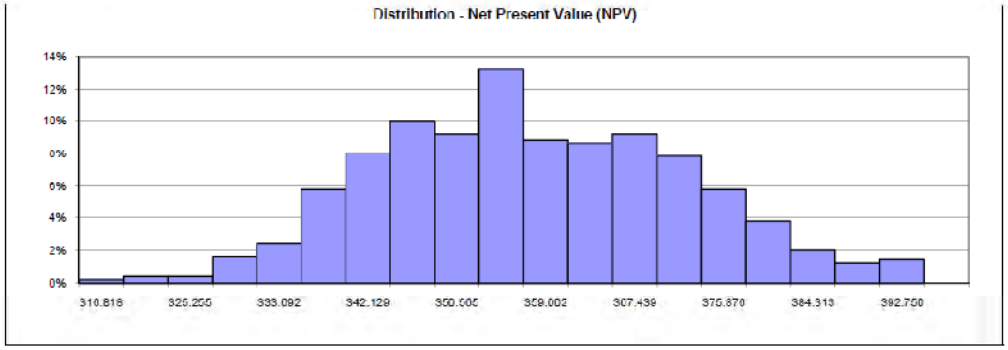
Risk analysis

Perform analysis on: Net Present Value (NPV)

Parameter	Unit	Value	Range (+/-)	Minimum	Maximum
Initial costs	€	49.586	50%	24.793	74.380
O&M	€	320	200%	-320	960
Fuel cost - proposed case	€	27.609	5%	26.229	28.989
Fuel cost - base case	€	31.544	5%	29.967	33.121
Debt term	yr	0	0%	0	0



Median	€	356.572
Level of risk	%	5,0%
Minimum within level of confidence	€	331.676
Maximum within level of confidence	€	307.640



RETScreen Sensitivity and Risk Analysis - Heating project

Sensitivity analysis

Perform analysis on	After-tax IRR - assets
Sensitivity range	10%
Threshold	6,5 %

Fuel cost - base case		Initial costs				€
		44.628	47.107	49.586	52.066	54.545
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
28.390	-10%	60,7%	57,6%	54,9%	52,4%	50,2%
29.967	-5%	64,5%	61,3%	58,4%	55,7%	53,3%
31.544	0%	68,3%	64,9%	**61,8%**	59,0%	56,5%
33.121	5%	72,2%	68,5%	65,3%	62,3%	59,6%
34.698	10%	76,0%	72,1%	68,7%	65,6%	62,8%

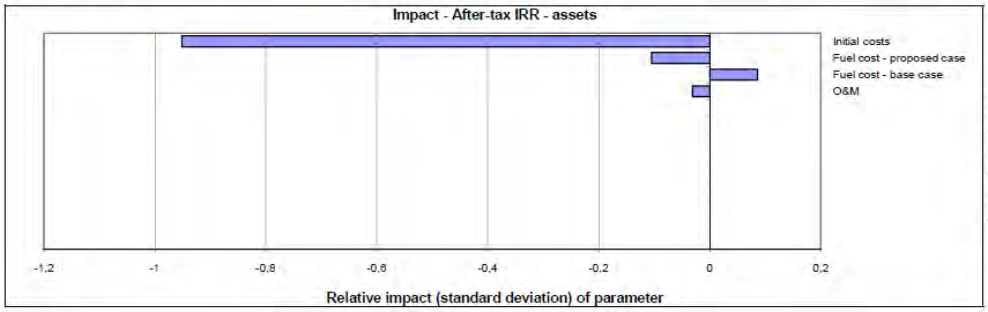
Fuel cost - proposed case		Initial costs				€
		44.628	47.107	49.586	52.066	54.545
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
24.848	-10%	75,0%	71,2%	67,8%	64,8%	62,0%
26.229	-5%	71,7%	68,1%	64,8%	61,9%	59,2%
27.609	0%	68,3%	64,9%	**61,8%**	59,0%	56,5%
28.989	5%	65,0%	61,7%	58,8%	56,1%	53,7%
30.370	10%	61,6%	58,5%	55,8%	53,3%	51,0%

Initial costs		O&M				€
		288	304	320	336	352
€		-10%	-5%	0%	5%	10%
44.628	-10%	68,4%	68,4%	68,3%	68,3%	68,3%
47.107	-5%	65,0%	65,0%	64,9%	64,9%	64,8%
49.586	0%	61,9%	61,9%	**61,8%**	61,8%	61,8%
52.066	5%	59,1%	59,1%	59,0%	59,0%	59,0%
54.545	10%	56,6%	56,5%	56,5%	56,5%	56,4%

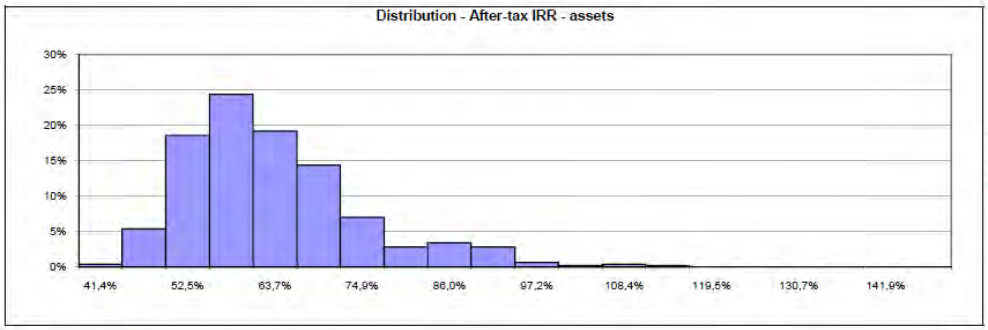
Risk analysis

Perform analysis on: After-tax IRR - assets

Parameter	Unit	Value	Range (+/-)	Minimum	Maximum
Initial costs	€	49.586	50%	24.793	74.380
O&M	€	320	200%	-320	960
Fuel cost - proposed case	€	27.609	5%	26.229	28.989
Fuel cost - base case	€	31.544	5%	29.967	33.121
Debt term	yr	0	0%	0	0



Median	%	61,1%
Level of risk	%	5,0%
Minimum within level of confidence	%	47,3%
Maximum within level of confidence	%	92,4%



LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

A	Área
ADENE	Agência para a Energia
AQS	Água Quente Sanitária
AGV	Ácidos Gordos Voláteis
C_p	Calor Específico a Pressão Constante
CPC	Colector Parabólico Composto
CQO	Carência Química de Oxigénio
CSTR	Digestor de Mistura Completa
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
ETARs	Estação de Tratamento de Águas Residuais
I_g	Radiação Solar Global
INETI	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
IRR	Internal Rate of Return
IST	Instituto Superior Técnico
$\dot{m}$	Caudal
NPV	Net Present Value
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SPES	Sociedade Portuguesa de Energia Solar
t	Período de tempo
TIR	Taxa Interna de Retorno
TRH	Tempo de Retenção Hidráulico
U	Coeficiente de Transferência Térmica (Ξk)
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Leito de Lamas Anaeróbio de Fluxo Ascendente)
VAL	Valor Actual Líquido
ΔT	Variação de Temperatura